

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Instituto de Física  
Programa de Pós-graduação em Ensino de Física  
Mestrado Acadêmico em Ensino de Física

Matheus Henrique Thomas Becker

A agência humana no processo de atribuição de sentido: um estudo sobre o impacto  
da história da Ciência no ensino de Física

Porto Alegre

2024

Matheus Henrique Thomas Becker

A agência humana no processo de atribuição de sentido: um estudo sobre o impacto da história da Ciência no ensino de Física

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física pelo Programa de Pós-graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Leonardo Albuquerque  
Heidemann

Coorientador: Nathan Willig Lima

Porto Alegre

2024

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Matheus Henrique Thomas Becker

A agência humana no processo de atribuição de sentido: um estudo sobre o impacto da história da Ciência no ensino de Física

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ensino de Física pelo Programa de Pós-graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Leonardo Albuquerque  
Heidemann

Co-orientador: Nathan Willig Lima

Porto Alegre, 18 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

---

Dr. Leonardo Albuquerque Heidemann  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Dr<sup>a</sup>. Ileana María Greca Dufranc  
Universidad de Burgos/Espanha

---

Dr. Ernani Vassoler Rodrigues  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

Dr. Tobias Espinosa de Oliveira  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

## **AGRADECIMENTOS**

---

Mãe, te agradeço pelo apoio incondicional.

Irmã, te agradeço pela amizade inafiançável.

Pai, te agradeço pelo estímulo à Ciência.

À família toda, e em especial para alguns anjos e anjas que guardo no coração, agradeço pela sustentação psicológica, espiritual e estrutural.

Aos amigos que tive, mantive e obtive até este momento, agradeço pelo bem-querer, de uma forma ou de outra, de perto ou de longe.

E aos meus orientadores, agradeço pelos ensinamentos e pelo exemplo de profissionalismo.

## **EPÍGRAFE**

*Aquele que considera sua vida e a dos outros sem  
qualquer sentido é fundamentalmente infeliz, pois não  
tem motivo algum para viver.*

(Albert Einstein, Como vejo o mundo, 1953)

## RESUMO

A área de pesquisa em ensino reconhece que a História da Ciência pode impactar a aprendizagem de diversas maneiras, em especial na atribuição de sentido ao conhecimento. No entanto, estudos recentes evidenciam que o efetivo impacto dessa abordagem na aprendizagem conceitual é pouco conhecido. Motivados por essa problemática, investigamos o impacto da História da Ciência na atribuição de sentidos a tópicos de Física. Inspirados na pesquisa de Franco *et al.* (2024), consideramos o sentido como uma dimensão conotativa da aprendizagem, isto é, um posicionamento de uma pessoa sobre o “por quê” e “para que” um conceito existe, que é impactada por julgamentos de valor pessoal, social e/ou cultural. A partir dessa concepção, realizamos três estudos. O primeiro consistiu de uma revisão bibliográfica de pesquisas empíricas internacionais sobre o uso da História da Ciência no ensino de Física. Nesse estudo, concluímos que a área de pesquisa sobre o tema é essencialmente teórica, e que a aprendizagem conceitual é tratada como “efeito colateral” do uso de abordagens históricas. No segundo estudo, avaliamos uma metodologia de inferência de sentidos em um contexto de divulgação científica sobre Mecânica Quântica. Pautados na concepção de Bandura *et al.* (2008) sobre o processo de autorregulação, inferimos dois sentidos atribuídos para o conceito de dualidade onda-partícula. Tais sentidos não apresentaram correlação com a área de formação e o nível de escolaridade dos participantes, e tiveram correlação fraca com o desempenho em testes padronizados, caracterizando, assim, o sentido como uma dimensão própria da aprendizagem conceitual. No terceiro estudo, de caráter exploratório, investigamos o impacto da História da Ciência na atribuição de sentidos a tópicos de Mecânica. Sob a lente da agência humana, realizamos entrevistas com estudantes de uma disciplina introdutória de um curso de Licenciatura em Física. Identificamos que a História da Ciência teve impacto na formação de elementos epistêmicos e holísticos dos sentidos atribuídos. Entretanto, esse impacto foi inexpressivo em abordagens pontuais e parcial em abordagens contínuas. Constatamos que aspectos da agência humana, como as intencionalidades e as antecipações, foram tão impactantes nos sentidos atribuídos quanto as abordagens didáticas utilizadas, em especial a História da Ciência, que não foi colocada em posição de destaque pelos participantes.

**Palavras-chave:** História da Ciência; Sentido; Aprendizagem conceitual; Autorregulação; Agência Humana.

## ABSTRACT

The teaching field of research recognizes that the History of Science can impact learning in various ways, particularly in the attribution of sense to knowledge. However, recent studies show that the actual impact of this approach on conceptual learning is not well understood. Motivated by this issue, we investigated the impact of the History of Science on the attribution of sense to Physics topics. Inspired by the research of Franco et al. (2024), we define sense as a connotative dimension of learning, that is, an individual's stance on the "why" and "what for" of a concept's existence, which is influenced by personal, social, and/or cultural value judgments. Based on this conception, we conducted three studies. The first was a literature review of international empirical research on the use of the History of Science in Physics education. In this study, we concluded that the research field on this topic is primarily theoretical, and that conceptual learning is often treated as a "side effect" of using historical approaches. In the second study, we assessed a methodology for inferring sense in a science communication context on Quantum Mechanics. Guided by Bandura *et al.*'s (2008) concept of self-regulation, we inferred two senses attributed to the wave-particle duality concept. These senses showed no correlation with participants' field of study or education level, and had a weak correlation with performance on standardized tests, thus characterizing sense as a distinct dimension of conceptual learning. In the third, exploratory study, we investigated the impact of the History of Science on the attribution of sense to Mechanics topics. Through the lens of human agency, we conducted interviews with students from an introductory course in a Physics teacher training program. We identified that the History of Science influenced the formation of epistemic and holistic elements of the attributed senses. However, this impact was minimal in isolated approaches and partial in continuous approaches. We found that aspects of human agency, such as intentionality and anticipation, were just as influential on the senses attributed as the teaching approaches used, particularly the History of Science, which was not given prominence by the participants.

**Keywords:** History of Science; Sense; Conceptual learning; Self-regulation; Human Agency

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Etapas de seleção e exclusão de artigos com base na revisão de Teixeira <i>et al.</i> (2012).....	25
Figura 3-2 – Exemplo de execução de processos da agência humana na “autorregulação da aprendizagem”.....	70
Figura 3-3 – A atribuição de sentido como resultado da agência humana no enfrentamento de uma situação.....	72
Figura 4-4 – Processos metodológicos dos estudos 2 e 3. Setas duplas indicam comparação de análises. Setas simples indicam que uma etapa dependeu da análise/instrumento anterior. Setas pontilhadas indicam o curso dos estudos 2 e 3.	74
Figura 4-5 – Exemplo de diagrama gerado pela análise de similitude no software Iramuteq.....	79
Figura 5-6 – Processos metodológicos dos Estudo 2.....	88
Figura 5-7 – Exemplo de análise de clusters pelo método k-means, onde k=3. As variáveis estatisticamente predominantes em cada cluster, neste caso, subfunções autorregulatórias, podem ser identificadas pela sua proporção dentro ou entre os clusters.....	94
Figura 5-8 – Diagrama (adaptado) gerado pelo IRAMUTEq na análise de similitude. As observações destacam as relações entre as subfunções de cada ilha, permitindo a inferência dos sentidos "Essencialista" e "Instrumentalista".....	106
Figura 5-9 – Clusters gerados pela análise do software Jamovi. Cada número no diagrama representa um participante alocado dentro de um cluster. As subfunções destacadas são mais proeminentes nos respectivos clusters.....	111
Figura 5-10 – Quantidade de participantes que manifestaram os sentidos essencialista ou instrumentalista em função do nível de escolaridade e da área de formação.....	116
Figura 6-11 – Processo metodológico do Estudo 3.....	127
Figura 6-12 – Ilustração de Galileu para propor a relação entre distância e tempo quadrático.....	129
Figura 6-13 – Análise de similitude das subfunções autorregulatórias identificadas nos questionários para o tópico de MRUV.....	136

Figura 6-14 – Análise de similitude das subfunções autorregulatórias identificadas nos questionários para o tópico de NC.....	140
Figura 6-15 – Síntese das relações entre sentido, agência humana e História da Ciência a partir das discussões do Estudo 3.....	160

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Quantidade de artigos por objetivo de pesquisa.....	29
Tabela 2.1 – Conclusões das pesquisas da revisão.....	42
Tabela 5.1 – Proporção das subfunções entre os clusters.....	110
Tabela 5.1 – Desempenho e melhora dos participantes no teste padronizado em função dos sentidos atribuídos.....	113

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Principais resultados desta revisão de literatura, com base nas questões da Seção 2.1.2.....	26
Quadro 2.1 – Referenciais teóricos de ensino e aprendizagem utilizados nas implementações didáticas.....	35
Quadro 2.1 – Exemplos de resultados positivos e negativos nas pesquisas revisadas.....	44
Quadro 3.1 – As subfunções autorregulatórias e suas características.....	68
Quadro 4.1 – Modelo de questionário sobre autorregulação utilizado nos estudos 2 e 3.....	75
Quadro 5.1 – Sessões do minicurso online sobre o experimento da fenda-dupla e a dualidade onda-partícula.....	85
Quadro 5.1 – Questionário sobre autorregulação referente ao conceito de dualidade onda-partícula.....	87
Quadro 5.1 – Itens do teste padronizado referente ao experimento da fenda-dupla.	89
Quadro 5.1 – Variáveis contrastadas nos testes estatísticos realizados neste estudo. .....	97
Quadro 5.1 – Subfunções autorregulatórias identificadas nos questionários.....	98
Quadro 6.1 – Atividades da disciplina referente aos conteúdos de MRUV e NC. As atividades destacadas em negrito contiveram abordagens históricas.....	127
Quadro 6.1 – Perguntas orientadoras da entrevista semiestruturada.....	129
Quadro 6.1 – Síntese das subfunções autorregulatórias e sentidos inferidos no conteúdo de MRUV para cada Participante (P). Cada linha se refere aos resultados de um participante.....	131

Quadro 6.1 – Síntese das subfunções autorregulatórias e sentidos inferidos para o conteúdo de Noção de Conservação para cada Participante (P). Cada linha se refere aos resultados de um participante.....	134
Quadro 6.1 – Contraste entre os sentidos inferidos e os sentidos manifestados por cada Participante P.....	138
Quadro 6.1 – Percepções dos Participantes P sobre as atividades, conteúdos e abordagens da disciplina.....	146
Quadro 6.1 – Antecipações de aprendizado de um conteúdo de Física e sentidos manifestados pelos Participantes (P) nas Entrevistas (E).....	150

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 ESTUDO 1: O QUE DIZEM AS PESQUISAS EMPÍRICAS RECENTES SOBRE O USO DA HDC NO ENSINO DE FÍSICA?.....</b>	<b>19</b>
2.1 METODOLOGIA DA REVISÃO DO ESTUDO 1.....	22
2.1.1 Seleção e exclusão de artigos.....	23
2.1.2 Análise dos artigos.....	25
2.1.3 Síntese dos artigos.....	26
2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
2.2.1 Objetivos das pesquisas empíricas.....	27
2.2.1.1 Dimensão Filosófica/Epistêmica.....	30
2.2.1.2 Dimensão Conceitual.....	31
2.2.1.3 Dimensão Emocional.....	32
2.2.2 Metodologias das pesquisas.....	34
2.2.3 Referenciais de ensino e aprendizagem das pesquisas.....	34
2.2.4 Concepções de NdC e conteúdos de Física nas pesquisas.....	36
2.2.5 Metodologias de ensino nas implementações das pesquisas.....	38
2.2.6 Resultados e conclusões das pesquisas empíricas.....	41
2.2.6.1 Dimensão Conceitual.....	46
2.2.6.2 Dimensão Filosófica/Epistêmica.....	48
2.2.6.3 Dimensão Emocional.....	49
2.3 CONCLUSÕES.....	50
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO: O SENTIDO E A AGÊNCIA HUMANA.....</b>	<b>58</b>
3.1 O SENTIDO COMO DIMENSÃO CONOTATIVA.....	58
3.2 A ATRIBUIÇÃO DE SENTIDO: <i>SENSEMAKING</i> .....	61
3.3 A ATRIBUIÇÃO DE SENTIDO: AGÊNCIA HUMANA.....	64
3.3.1 Intencionalidades e antecipações.....	65
3.3.2 Autorregulação e autorreflexão.....	67
<b>4 METODOLOGIA PARA INFERÊNCIA DE SENTIDOS.....</b>	<b>73</b>
4.1 QUESTIONÁRIOS SOBRE AUTORREGULAÇÃO.....	74
4.2 ANÁLISE DE SIMILITUDE.....	76
<b>5 ESTUDO 2: SENTIDOS PARA O CONCEITO DE DUALIDADE ONDA- PARTÍCULA NUM MINICURSO ONLINE DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA.....</b>	<b>81</b>

5.1 CONTEXTO DE PESQUISA.....	83
5.2 METODOLOGIA DE PESQUISA.....	87
<b>5.2.1 Questionários sobre autorregulação.....</b>	<b>88</b>
<b>5.2.2 Teste padronizado sobre o experimento da fenda-dupla.....</b>	<b>89</b>
<b>5.2.3 Análise de cluster.....</b>	<b>93</b>
<b>5.2.4 Testes de significância e de correlação estatística.....</b>	<b>95</b>
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	98
<b>5.3.1 As subfunções autorregulatórias mobilizadas pelos participantes.....</b>	<b>99</b>
<b>5.3.2 Análise de similitude: os sentidos inferidos para a dualidade onda-partícula.....</b>	<b>104</b>
<b>5.3.3 Análise de cluster: distribuição de participantes entre os sentidos inferidos.....</b>	<b>111</b>
<b>5.3.4 Testes estatísticos: caracterizando o sentido como dimensão da aprendizagem conceitual.....</b>	<b>114</b>
5.4 CONCLUSÕES.....	116
5.5 IMPLICAÇÕES PARA O ESTUDO 3.....	122
<b>6 ESTUDO 3: IMPACTO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NOS SENTIDOS ATRIBUÍDOS A CONCEITOS DE FÍSICA.....</b>	<b>124</b>
6.1 METODOLOGIA.....	126
<b>6.1.1 A abordagem histórica utilizada nas atividades didáticas da disciplina.....</b>	<b>128</b>
<b>6.1.2 Questionários de autorregulação e entrevista semi-estruturada.....</b>	<b>131</b>
6.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	133
<b>6.2.1 Sentidos atribuídos ao MRUV: diferentes graus de utilidade associados ao modelo.....</b>	<b>133</b>
<b>6.2.2 Sentidos atribuídos a Noção de Conservação (NC): diferentes status conferidos ao construto.....</b>	<b>137</b>
<b>6.2.3 Comparação entre os sentidos inferidos nos questionários e os sentidos manifestados nas entrevistas.....</b>	<b>141</b>
<b>6.2.4 Relações entre a abordagem histórica e os sentidos inferidos/manifestados.....</b>	<b>146</b>
<b>6.2.5 Percepções dos estudantes sobre a abordagem histórica.....</b>	<b>149</b>
<b>6.2.6 Contraste entre as antecipações de aprendizagem e os sentidos manifestados.....</b>	<b>153</b>
6.3 CONCLUSÕES DO ESTUDO 3.....	155

<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>162</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>168</b>
<b>APÊNDICE A – SÍNTESE DOS ARTIGOS REVISADOS NO ESTUDO 2.....</b>	<b>181</b>
<b>APÊNDICE B – INSTRUMENTO COMPLETO DO TESTE PADRONIZADO UTILIZADO NO ESTUDO 2.....</b>	<b>185</b>
<b>APÊNDICE C – TEXTO COM ABORDAGEM HISTÓRICA UTILIZADA NO TÓPICO DE MRUV DO ESTUDO 3.....</b>	<b>190</b>
<b>APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE AUTORREGULAÇÃO SOBRE O MODELO DE MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO.....</b>	<b>192</b>
<b>APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO DE AUTORREGULAÇÃO SOBRE A NOÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE GRANDEZAS.....</b>	<b>193</b>
<b>APÊNDICE F – TERMO DE CONSENTIMENTO DO ESTUDO 3.....</b>	<b>194</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A importância da História da Ciência (HdC) para a compreensão do conhecimento científico é reconhecida desde muito tempo. Augusto Comte, por exemplo, considerado por muitos como o “pai do positivismo”, já defendia, em seu *Curso de Filosofia Positiva* (2004, p. 92), que “não se conhece completamente uma ciência enquanto não se souber da sua história”. Carl Sagan, mais recentemente, afirmou na obra *Cosmos que* “é preciso conhecer o passado para compreender o presente” (2017, p. 74). O uso da HdC como abordagem didática no ensino de Física, da mesma forma, é amplamente defendido desde muito tempo. Por exemplo, o físico francês Louis De Broglie afirma que “a História da Ciência também é um excelente meio de ensino de ciências em escolas e faculdades” (1962, p. 228). Na virada do século XIX para o século XX, encontram-se tanto textos em defesa do uso da HdC (Cajori, 1899), quanto materiais didáticos integralmente estruturados numa perspectiva histórica (Mach, 1902). Como identificam Odden *et al.* (2021) numa investigação sobre a evolução do ensino de ciências (EC) nos últimos cem anos, a HdC é uma das abordagens mais continuamente utilizadas ao longo da história, embora não seja a mais predominante.

Um dos maiores exemplos de uso da HdC no ensino de Física é o Harvard Project Physics, uma iniciativa curricular que resultou numa série de livros didáticos amplamente difundidos nas salas de aulas norte-americanas nas décadas de 1970 e 1980. O material, construído com o auxílio de pesquisadores, apresentava a Física numa perspectiva histórica, com o intuito de ensinar “não apenas boa ciência, mas também algo sólido na forma como a ciência é feita e cresce, na visão científica do mundo, na forma como as ciências estão inter-relacionadas umas com as outras e com a própria história mundial” (Holton, 2003, p. 780).

As pesquisas sobre o impacto da HdC no ensino de ciências são, entretanto, intrigantes e desafiadoras às expectativas. Por exemplo, uma pesquisa sobre o Projeto Harvard constatou uma mudança de atitudes de estudantes em relação à Física, mas nenhum resultado efetivo referente à aprendizagem de conceitos (Welch, 1973). Essa problemática é acentuada ao compararmos, por exemplo, as revisões bibliográficas de Seroglou e Koumaras (2001) e de Teixeira *et al.* (2012). Ao passo que a primeira pesquisa – não sistemática de artigos teóricos do século

XX – especula sobre as potencialidades da HdC para discussões filosóficas, habilidades de resolução de problemas e identificação de concepções alternativas, a análise sistemática de pesquisas empíricas de Teixeira *et al.* (2012) aponta a falta de consenso sobre resultados positivos da HdC referente à essa dimensão. De acordo com os autores:

Os resultados mostram a ocorrência de efeitos positivos no uso didático HdC na aprendizagem de conceitos de física, apesar de não haver consenso sobre isso, e também indicam falta de concordância sobre a ocorrência de mudança conceitual (Teixeira *et al.*, 2012, p.793).

Existe um maior alinhamento entre a HdC e aspectos da Natureza da Ciência (NdC), como apontado por Seroglou e Koumaras (2001) e difundido na pesquisa em ensino de Física. De modo geral, a literatura costuma enfatizar a compreensão de aspectos epistêmicos, filosóficos e socioculturais da ciência quando articulada com essa abordagem. De qualquer modo, a questão do impacto da HdC na aprendizagem conceitual permanece aberta. Motivados por isso, realizamos uma revisão bibliográfica de pesquisas empíricas sobre o uso da HdC no ensino de Física aos moldes do estudo de Teixeira *et al.* (2012). Descrita no Estudo 1 dessa dissertação, almejamos tanto atualizar o estado da arte dessa linha de pesquisa, como aprofundar a problemática da relação entre HdC e a aprendizagem conceitual. Entre os resultados, corroboramos a conclusão de Teixeira *et al.* (2012) ao constatarmos que a aprendizagem conceitual é tratada como um “resultado latente” do uso da HdC, isto é, um efeito colateral dessa abordagem, e não um objetivo central do seu uso.

Por outro lado, nossa revisão bibliográfica identificou estudos reforçando a noção de que a HdC contribui para “atribuir sentido” ao conhecimento. Essa premissa também não é nova, podendo ser identificada em reflexões de diversos pesquisadores da área. Por exemplo, Michael Matthews (1992) afirma que a HdC – alinhada à filosofia da ciência – pode contribuir para “começar a compreender como e *em que sentido* a ciência nos dá a melhor compreensão que temos do mundo em que vivemos” (Matthews, 1992, p. 12, grifo nosso). Galili, por outro lado, aponta que “diversos conteúdos do passado (da zona periférica das disciplinas de física) fornecem e enriquecem o significado das reivindicações das teorias físicas (seus núcleos)” (Galili, 2008, p.9). Entretanto, é evidente que a noção de “sentido”, de modo geral, é polissêmica nesses estudos. Em Martins (2007), por exemplo,

professores de Ensino Médio indicaram que a HdC “dá sentido ao conhecimento, contextualiza-o”, assim como “[a HdC] ajuda a entender melhor os conteúdos, a origem dos conceitos”. Nessa linha, Dibattista e Morgese (2013) perguntam para estudantes “Se a História da Ciência fosse um tópico de estudo como outros... isso ajudaria você a fazer sentido do seu conhecimento?”. Nas respostas, obtiveram 4% para “Não”, 19% para “Um pouco”, 41% para “Bastante” e 34% para “Muito”. Esses autores argumentam que o impacto da HdC para “atribuir sentido” está num âmbito “metacognitivo”, de desenvolvimento da autonomia e da criticidade para interpretar teorias científicas. Essa polissemia sobre a noção de “sentido” mantém aberta a questão do impacto da HdC no “atribuir sentido”.

Diferentes delineamentos na literatura indicam que o sentido é uma dimensão pessoal e subjetiva, sendo um pensamento que transcende os significados ou definições formais. Por exemplo, Vygotski considera o sentido como a “dinâmica dos significados”, ou seja, a soma de todos os fatos psicológicos que a palavra desperta na consciência (Ashbar, 2014). Em contraste, Leontiev propõe que o sentido é aquilo que conecta a ação do indivíduo com o motivo dessa ação (Duarte, 2004). Já Vergnaud propõe que o sentido é uma relação pessoal do indivíduo com um conjunto de situações e seus significantes (Heusy *et al.*, 2022). Mais recentemente, a pesquisa de Franco *et al.* (2024) apresenta uma definição para o conceito de sentido o considerando como uma dimensão conotativa; o “atribuir sentido” leva em consideração posicionamentos pessoais e julgamentos de valor impactados por fatores socioculturais e/ou afetivos. Na pesquisa de Franco *et al.* (2024) foram investigados os sentidos atribuídos à experiência de reprovação por estudantes de Física; em síntese, os sentidos inferidos envolveram conotações como “frustração a ser ultrapassada”, “incapacidade individual intrínseca”, “dificuldade a ser superada” e “conformidade com a injustiça do sistema educacional”.

Nessa perspectiva, a noção de sentido está atrelada ao que se interpreta e a como se reage perante uma situação/experiência. Em particular, o “atribuir sentido” é uma tentativa de compreender o “por que” e “para que” um evento ocorreu. Se trata, portanto, de um ato intencional ou, na perspectiva da Teoria Social Cognitiva de Bandura *et al.* (2008), um ato da agência humana. De acordo com esse autor, “os objetivos, baseados em um sistema de valores e em um sentido de identidade pessoal, conferem significado e propósito às atividades” (Bandura, 2008, p.76). Com

isso, o sentido pode ser compreendido como uma dimensão conotativa associada à um julgamento de valor e um propósito.

Retornando à questão de que a HdC favorece a atribuição de sentido ao conhecimento, entretanto, essa definição não evidencia a relação do sentido com a compreensão de conceitos. Se o sentido se atrela a situações e/ou experiências, de que modo podemos falar do sentido de um conceito? De que modo ocorre esse processo de atribuição de sentido? Esse sentido, enquanto dimensão conotativa, poderia ser impactado pelo estudo da HdC?

Com base em tais questionamentos, na presente dissertação de mestrado temos como objetivo geral investigar o impacto da História da Ciência na atribuição de sentidos a conceitos da Física. Tendo em vista esse objetivo, nossos Objetivos Específicos (OE) são:

**OE1:** investigar o estado atual das pesquisas empíricas sobre o uso da HdC no ensino de Física;

**OE2:** investigar as implicações da noção de sentido de Franco *et al.* (2024), analisando-a como uma dimensão conotativa da aprendizagem conceitual;

**OE3:** investigar a atribuição de sentido enquanto um processo da agência humana, a partir da Teoria Social Cognitiva de Bandura (2008);

**OE4:** avaliar os impactos da HdC na atribuição de sentido a esses conceitos, na perspectiva da agência humana.

Para atingir esses objetivos, realizamos três estudos. Como dito, o Estudo 1, focado no OE1, é uma revisão bibliográfica sistemática de pesquisas empíricas sobre o uso da HdC no ensino de Física. Nos baseamos nas pesquisas de Seroglou e Koumaras (2001) e de Teixeira *et al.* (2012) para categorizar trinta e duas pesquisas. Nesse trabalho, constatamos que a aprendizagem conceitual é tratada como efeito “latente” do uso da HdC, bem como indícios reforçando a noção de que essa abordagem contribui para “atribuir sentido” ao conhecimento.

No Estudo 2, iniciamos os esforços para atingir os objetivos OE2, OE3 e OE4. Consideramos a atribuição de sentido um processo autorregulatório da agência humana, e inferimos os sentidos atribuídos ao conceito de dualidade onda-partícula por 121 participantes de um minicurso de divulgação científica online. Nesse minicurso, o experimento da fenda-dupla foi discutido e os participantes responderam a testes padronizados sobre esse tópico, bem como a um questionário sobre autorregulação.

No Estudo 3, exploramos a noção de atribuir sentido como um processo multifacetado da agência humana. Damos continuidade na busca ao OE3 e, visando o OE4, investigamos os sentidos atribuídos a conceitos de Mecânica Clássica por estudantes de um curso introdutório de Licenciatura em Física da UFRGS. Uma abordagem histórica pontual foi implementada no ensino do modelo de Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV), ao passo que uma abordagem histórica diluída foi articulada ao ensino da Noção de Conservação de grandezas (NC).

No Capítulo 2, apresentamos a revisão bibliográfica do Estudo 1, que motivou o estudo do sentido atribuído a conceitos e sua relação com a HdC no ensino de Física. Já no Capítulo 3, expomos nossas definições sobre o conceito de sentido. A Teoria Social Cognitiva, que utilizamos para analisar o processo de atribuição de sentido, é apresentada também no Capítulo 3. Algumas das metodologias utilizadas nos estudos 2 e 3, como a análise de similitude, por exemplo, são expostas no Capítulo 4. Os estudos 2 e 3 são apresentados em sequência nos capítulos 5 e 6, respectivamente. Por fim, as conclusões, implicações e limitações dessa dissertação, em função dos objetivos estipulados, são apresentadas no capítulo 7.

## 2 ESTUDO 1: O QUE DIZEM AS PESQUISAS EMPÍRICAS RECENTES SOBRE O USO DA HDC NO ENSINO DE FÍSICA?<sup>1</sup>

Como discutido, a proposta de uma abordagem histórica no ensino de Física não é nova e pode ser encontrada em textos do final do século XIX (Cajori, 1899) e início do século XX (Mach, 2008). No entanto, é reconhecido que o campo de pesquisa em ensino de Física emergiu de maneira organizada e institucionalizada apenas após a Segunda Guerra Mundial (Kaiser, 2005; Nardi, 2016). Também a partir da década de 1970, tornaram-se evidentes os avanços na formalização de um campo de pesquisa sobre história, filosofia e educação em ciências.

Durante esse período, por exemplo, pesquisas sobre o Harvard Project Physics<sup>2</sup> destacaram que o uso da história da ciência favorece atitudes mais positivas dos alunos em relação à ciência, na educação básica, sem interferir na aprendizagem conceitual (Welch, 1973). Além disso, podemos mencionar dois marcos institucionais importantes: a formação do *International Group of History, Philosophy and Science Teaching* (IHPST) e a fundação da revista *Science e Education*, dedicada especificamente a essa área do conhecimento (Lima, 2022).

Nas últimas décadas, o cenário global mudou, trazendo novos desafios para a educação contemporânea. O campo da educação em ciências não ficou alheio a esses novos cenários, levantando novas possibilidades teóricas, metodológicas e epistemológicas para refletir sobre ciência e ensino de ciências. Para mencionar alguns exemplos, vimos avanços nas discussões sobre questões sociocientíficas (Zeidler *et al.*, 2005) e a Natureza da Ciência (NdC) (Allchin, 2017; Erduran e Dagher, 2014; McComas, 2020). Durante esse período, Odden *et al.* (2021) apontam que, enquanto outras vertentes de pesquisa em educação tiveram altos e baixos, como o desenvolvimento de programas de formação e capacitação de professores e a aprendizagem em espaços informais, a pesquisa sobre a HdC na educação

---

<sup>1</sup> O Estudo 1 desta dissertação foi publicado na revista *Science & Education*, no ano de 2024, sob o título: "*History of Science in Physics Education in the Last Decade: Which Direction We Are Heading?*". Disponível em <https://doi.org/10.1007/s11191-024-00537-9>.

<sup>2</sup> O Harvard Project Physics, desenvolvido durante as décadas de 1960 e 1970, foi uma iniciativa voltada para a reformulação do ensino de Física nas escolas secundárias norte-americanas. Sob a liderança da Universidade de Harvard, o projeto resultou na criação da série de livros didáticos Project Physics, que ganhou ampla aceitação nas salas de aula das décadas de 1970 e 1980. O projeto contou com a colaboração de educadores de diversas partes do país, apresentando o conteúdo de Física sob uma perspectiva histórica e integrando elementos de interesse humano para cultivar uma compreensão mais aprofundada do tema (Holton, 2003).

manteve uma presença constante, sendo uma área importante de pesquisa em educação científica.

Esses estudos têm demonstrado ao longo do tempo as contribuições da HdC para o desenvolvimento de múltiplas dimensões da aprendizagem. Segundo Seroglou e Koumaras (2001), as investigações sobre HdC no ensino de Física (ensino de Física) passaram por uma mudança em direção ao alinhamento com perspectivas de aprendizagem "metacognitivas". Esse alinhamento, conforme elucidado pelos autores, está associado a aspectos epistêmicos, filosóficos, socioculturais e da NdC. No entanto, investigações sobre HdC no ensino de Física também buscam, embora com menor frequência, a dimensão "cognitiva" da aprendizagem, ligada à construção de conhecimento sobre o conteúdo de Física, metodologias e habilidades de resolução de problemas. Igualmente importante, os autores identificaram trabalhos sobre HdC no ensino de Física com objetivos relacionados à dimensão "emocional" da aprendizagem. Inicialmente conectada ao fomento do interesse e motivação dos estudantes pela ciência, posteriormente houve uma mudança para pesquisas sobre as intenções comportamentais e atitudes dos estudantes em relação à Física.

Organizar esses trabalhos em termos de objetivos de aprendizagem é crucial para delinear uma visão abrangente da pesquisa sobre HdC no ensino de Física. No entanto, desde as contribuições de Seroglou e Koumaras (2001), as perspectivas sobre a aprendizagem não permaneceram estáticas e podem ser revisitadas e reestruturadas com base em outros aspectos. Por exemplo, atualmente, o termo "metacognição" tem um significado diferente na literatura sobre educação em ciências, estando agora ligado à ideia de "pensar e aprender sobre como se aprende" (Rosa e Ghiggi, 2018). Portanto, não é usual associá-lo a elementos da NdC, nem às dimensões socioculturais e filosóficas. Da mesma forma, não é preciso referir-se à aprendizagem de conceitos e habilidades de resolução de problemas como uma dimensão "cognitiva". Há um consenso na literatura de que qualquer forma de aprendizagem — seja conceitual, epistêmica ou emocional — requer atividades cognitivas internas ao indivíduo que aprende.

Teixeira *et al.* (2012) apresentaram uma extensa revisão internacional sobre a implementação de atividades de HdC no ensino de Física. Em seu trabalho, os autores mostram que o uso da HdC no ensino de Física está associado a múltiplas perspectivas sobre objetivos de ensino, bem como metodologias de ensino e

materiais didáticos. Além disso, os autores relatam a ocorrência de efeitos positivos da HdC no ensino de conceitos de Física, embora não haja consenso definitivo sobre essa questão. Eles também não identificaram consenso sobre a HdC promover atitudes mais positivas dos participantes em relação à ciência. Nesse sentido, sugerem mais pesquisas nessas áreas. Por outro lado, os autores concluem que a HdC parece promover visões mais maduras sobre aspectos da NdC, argumentação e metacognição.

Dentre esses estudos, uma das noções difundidas é de que a História da Ciências contribui para “atribuir sentido” ao conhecimento. Como discutido no Capítulo 1, Michael Matthews (1992, p.12) afirma, por exemplo, que é possível “compreender como e *em que sentido* a ciência nos dá a melhor compreensão que temos do mundo em que vivemos” (tradução e grifo nosso). Já Galili (2008, p.9) indica que “diversos conteúdos do passado [...] fornecem e enriquecem o significado das reivindicações das teorias físicas...” (tradução nossa). Na pesquisa de Martins (2007, p.12), professores de Ensino Médio indicaram que a HdC “dá sentido ao conhecimento, contextualiza-o”, assim como “ajuda a entender melhor os conteúdos, a origem dos conceitos”. Por fim, na pesquisa de Dibattista e Morgese (2013, p. 567) é perguntado para estudantes: “Se a História da Ciência fosse um tópico de estudo como outros... isso ajudaria você a fazer sentido do seu conhecimento?”. As respostas foram distribuídas em 4% para “Não”, 19% para “Um pouco”, 41% para “Bastante” e 34% para “Muito”. Esses autores argumentam que o impacto da HdC para “atribuir sentido” está num âmbito “metacognitivo”, de desenvolvimento da autonomia e da criticidade para interpretar teorias científicas.

Não obstante, vários novos desafios surgiram no contexto da educação em ciências na última década. No que diz respeito à História da Ciência, um exemplo é o surgimento de movimentos anti-ciência, moldando o que alguns chamam de era da pós-verdade (McIntyre, 2018), onde “fatos alternativos” podem substituir fatos objetivos, e crenças e emoções apresentam mais peso do que evidências científicas. Um exemplo desse cenário de pós-verdade pode ser a crise de confiança na ciência destacada durante a pandemia (Lima e Nascimento, 2022). Outra tendência em discussão são as questões de gênero, que incluem, por exemplo, estudos sobre o papel e o apagamento de cientistas mulheres na produção do conhecimento científico ao longo da história da ciência.

De forma semelhante, mas em um contexto de amplas mudanças sociais, são exemplos de novas agendas as pesquisas sobre justiça social (Yacoubian e Hansson, 2020) e a decolonialidade. Esses estudos impactam à educação em ciências especialmente por meio de discussões sobre NdC e as relações CTS. No entanto, a atual conexão entre HdC e a discussão dessas agendas é desconhecida. Não sabemos se a HdC poderia ser uma abordagem potencial para tratar dessas questões ou se há pesquisas suficientes que indiquem possibilidades nesse sentido.

Dito isso, o objetivo deste estudo é investigar trabalhos na área de HdC no ensino de Física, publicados entre o período de 2012 a 2022, nos quais foram analisadas pesquisas empíricas sobre implementações didáticas. Especificamente, avaliamos os objetivos, métodos de pesquisa, concepções de NdC, marcos teóricos subjacentes às abordagens didáticas e os principais resultados desses estudos. Com base na análise realizada, discutimos as contribuições recentes desse campo de pesquisa e em que medida ele se alinha ou diverge das tendências mais amplas identificadas no campo da pesquisa em educação em ciências..

## 2.1 METODOLOGIA DA REVISÃO DO ESTUDO 1

A revisão da literatura seguiu uma abordagem integrativa, que é definida por Botelho *et al.* (2011, p. 128) como “um resumo da literatura, em uma área de conceito ou conteúdo específica, na qual a pesquisa é resumida, analisada e conclusões gerais são extraídas”. O propósito de tal revisão inclui investigar pesquisas empíricas sobre um tópico particular, neste caso, o uso da HdC no ensino de Física.

A revisão integrativa consiste em seis etapas (Botelho *et al.*, 2011). A primeira etapa, chamada de “Identificação do tema e seleção da pergunta de pesquisa”, foi discutida na introdução deste capítulo. A segunda etapa, “Estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão,” será exposta na Seção 2.1.1. As duas etapas subsequentes, “Identificação de estudos pré-selecionados e selecionados” e “Categorização dos estudos selecionados,” são descritas tanto na Seção 2.1.1 quanto no Apêndice A. A quinta etapa, referente à “Análise e interpretação dos resultados”, será descrita nas Seções 2.1.2 e 2.1.3, enquanto o material apresentado e resumido será apresentado nas Seções 2.2 e 2.3 do texto.

Finalmente, a última etapa, “Apresentação da síntese do conhecimento”, é exposta nas conclusões do artigo (Seção 2.3).

### **2.1.1 Seleção e exclusão de artigos**

Para conduzir uma revisão da literatura consistente com nossa intenção de avaliar pesquisas empíricas sobre o uso da história da ciência no ensino de Física, baseamo-nos no trabalho anteriormente realizado por Teixeira *et al.* (2012). Em seu artigo, os autores realizaram uma revisão da literatura sobre o uso da HdC no ensino de Física, desde o início do século XX até o ano de sua pesquisa. Em nossa revisão, adotamos os mesmos critérios de seleção e exclusão utilizados por esses autores, visando fornecer uma visão atualizada do estado da arte deste campo de pesquisa. Em particular, analisamos as pesquisas do período entre 2012 e 2022. A revisão de Teixeira *et al.* (2012) considerou trabalhos acadêmicos disponíveis nas plataformas ERIC, SpringerLink e Wiley, bem como diretamente nas revistas eletrônicas *Science & Education*, *Science Education*, *International Journal of Science Education*, *International Journal of Science and Mathematical Education*, *Research in Science Education* e *American Journal of Physics*. Em nossa pesquisa, focamos exclusivamente em trabalhos disponíveis nas plataformas ERIC, SpringerLink e Wiley InterScience, uma vez que, atualmente, todas as revistas individuais mencionadas estão incluídas nessas plataformas.

Para identificar os artigos nessas plataformas, selecionamos o período de 2012 a 2022 e utilizamos as mesmas palavras-chave do artigo original, a saber, “science teaching”, “history of science”, “philosophy of Science”, “nature of science”, “physics teaching” e “physics education”. Em particular, nós conduzimos a busca por meio dos agrupamentos: <“science teaching” or “physics teaching” or “physics education”> and <“history of science” or “philosophy of science” or “nature of science”>. Como resultado, obtivemos 324 artigos da plataforma ERIC, 493 artigos da SpringerLink e 469 artigos da Wiley, totalizando 1286 artigos selecionados para análise.

A primeira etapa de exclusão de artigos envolveu a leitura do título, resumo e palavras-chave de cada um dos trabalhos selecionados. O objetivo dessas etapas foi excluir os trabalhos em que a HdC não foi discutida de forma alguma ou não foi

discutida em conjunto com as perspectivas de ensino de ciências. Também excluímos artigos cujos resumos não apresentaram sinais de uso da HdC nas implementações didáticas a serem analisadas, direcionando especificamente a análise para trabalhos na forma de artigos de periódicos aceitos por meio de revisão por pares, excluindo, portanto, pesquisas escritas como capítulos de livros, teses, dissertações e relatos de eventos acadêmicos. Com esses critérios iniciais, a amostra foi reduzida a 182 artigos aceitos e mais 159 artigos para segunda análise. A partir de debates entre os autores, foram excluídos os artigos que não abordavam os tópicos centrais da revisão, restando 190 artigos para prosseguir à segunda etapa de exclusão de artigos, baseada no trabalho de Teixeira *et al.* (2012), que empregou dois critérios gerais de exclusão, a saber:

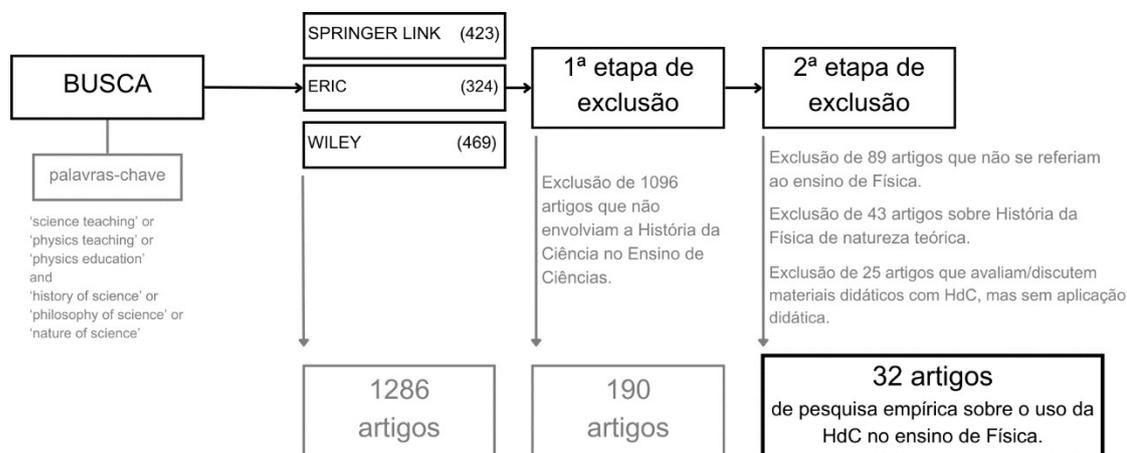
**#1:** Artigos que não incluem o ensino de Física, mas se concentram na educação em ciências em geral ou em outras áreas da ciência, como biologia ou química.

**#2:** Artigos teóricos sem aplicação didática.

**#3:** Artigos que tratam de aplicações gerais da HdC, como a produção, uso e análise de materiais instrucionais, sem relatar resultados de uma aplicação didática.

Como consta na Figura 2-1, em nosso processo de exclusão, 89 artigos foram excluídos com base no primeiro critério. Outros 43 artigos foram excluídos com base no segundo critério e 25 artigos com base no terceiro critério, resultando em um total de 32 artigos para revisão. Por exemplo, o artigo de El-Hani (2015), intitulado de “*Mendel in Genetics Teaching: Some Contributions from History of Science and Articles for Teachers*”, foi excluído pelo critério 1, por se tratar do ensino de Biologia. O artigo de Coelho (2014) – *On the Concept of Energy: Eclecticism and Rationality* – foi excluído pelo critério 2, uma vez que se dedicou exclusivamente a história do conceito de energia sem investigar implementações didáticas. Como último exemplo, o artigo intitulado “*The Missing Curriculum in Physics Problem-Solving Education*”, de Williams (2018), foi excluído pelo critério 3 devido a discutir uma proposta curricular com elementos da HdC sem investigar implementações desse currículo. Posteriormente discutiremos sobre esse número final.

Figura 2-1 – Etapas de seleção e exclusão de artigos com base na revisão de Teixeira *et al.* (2012)



Fonte: elaboração própria.

### 2.1.2 Análise dos artigos

Para analisar os 32 estudos de pesquisa empírica sobre o uso da HdC no ensino de Física, utilizamos a “Tabela 1” disponível no artigo de Teixeira *et al.* (2012) como referência para construir a tabela no Apêndice A deste estudo. A tabela foi reformulada para atender às intenções de nosso estudo, com foco principalmente nos objetivos de cada artigo, no contexto de ensino, nas metodologias de pesquisa e ensino empregadas, nos tópicos e temas abordados, e nas conclusões apresentadas.

Após essa análise, buscamos expandir o conteúdo da tabela. Para cada item, estabelecemos questões a serem respondidas com base na avaliação e síntese coletiva dos artigos. Essa etapa nos possibilitou explorar os detalhes das pesquisas e estabelecer resultados gerais. Grande parte do material desta revisão foi derivada desse processo. A criação de categorias, descrição de porcentagens e cálculo de médias emergiram durante esta fase. A principal questão de investigação para cada item na tabela é a seguinte:

- Objetivos da pesquisa: Quais são os principais objetivos das pesquisas empíricas sobre o uso da HdC nas aulas de Física?
- Contextos de investigação: Em quais contextos de ensino, ou seja, níveis educacionais e tópicos de Física, a HdC é mais utilizada no ensino de Física?
- Metodologia de pesquisa: Quais são os métodos mais utilizados nas pesquisas empíricas sobre o uso da HdC no ensino de Física?

- Metodologia de ensino: Quais são as principais abordagens didáticas utilizadas nas implementações das pesquisas empíricas sobre o uso da HdC no ensino de Física?
- Resultados e conclusões: Quais são as principais resultados e conclusões apresentados pelas pesquisas empíricas sobre o uso da HdC no ensino de Física?

### 2.1.3 Síntese dos artigos

Após a etapa descrita, foi realizada uma síntese dos resultados da revisão. Um novo esquema foi construído (ver Apêndice A) para simplificar as informações e destacar os achados mais relevantes. O objetivo de criar essa tabela mais concisa é fornecer acesso rápido às informações-chave extraídas da análise, permitindo comparações e associações objetivas com os argumentos apresentados nas Seções 2.2 e 2.3 deste artigo. Ela também serve para enfatizar os principais resultados dos trabalhos revisados.

## 2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresentamos os resultados da revisão da literatura sobre pesquisas empíricas a respeito do uso de HdC no ensino de Física. Fornecemos uma discussão sobre elementos alinhados com as questões delineadas na Seção 2.2. Conseqüentemente, as seções a seguir apresentam explicitamente tanto os resultados quanto breves resumos e evidências sobre cada tema analisado.

O Quadro 2.1 resume os resultados das perguntas formuladas durante a análise dos artigos, alinhadas com os tópicos da Seção 2.1.2. A análise detalhada de cada eixo da tabela é apresentado nas seções seguintes.

Quadro 2.1 – Principais resultados desta revisão de literatura, com base nas questões da Seção 2.1.2.

<b>Objetivos das pesquisas</b>	Há mais pesquisas com objetivos relacionados à dimensão Epistêmica/Filosófica (n=16), seguido da dimensão Emocional (n=12) e da Conceitual (n=10). Não foram apresentados objetivos de dimensão Procedimental. Nenhum artigo tem o objetivo discutir pautas emergentes, como as citadas na Introdução deste estudo.
<b>Metodologias das pesquisas</b>	As pesquisas analisadas são essencialmente qualitativas. Apenas três pesquisas apresentaram métodos mistos e um único artigo utilizou abordagem exclusivamente quantitativa.
<b>Instrumentos de</b>	Há uma heterogeneidade de instrumento de pesquisas utilizados, com

<b>pesquisa</b>	predominância do uso de questionários (66%), seguido de entrevistas (41%); gravações/transcrições de aulas (38%), materiais produzidos pelos participantes (38%) e diários de aula (22%).
<b>Referenciais de ensino e aprendizagem</b>	Menos da metade dos artigos apresentam um referencial teórico de ensino para as implementações didáticas. Dentre os 14 artigos que usaram algum referencial, as teorizações exploradas são heterogêneas, sem hegemonia de alguma perspectiva particular.
<b>Metodologias de ensino</b>	Há uma heterogeneidade de estratégias didáticas, com prevalência de abordagens expositivas, mas com bastante articulação com atividades em grupo e atividades de leitura/escrita. Atividades experimentais foram relatadas em oito artigos, apesar de nenhum ter por objetivo de pesquisa a aprendizagem procedimental.
<b>Concepções de NdC</b>	Apenas sete implementações didáticas discutiram a Natureza da Ciência sob a lente de algum referencial teórico, sendo que não houve prevalência de nenhuma concepção particular sobre NdC.
<b>Conclusões das pesquisas</b>	Os trabalhos relataram em maior quantidade resultados e conclusões referentes a dimensão Conceitual (n=21) em detrimento das dimensões Epistêmica (n=17) e Emocional (n=13), promovendo um contraponto com os objetivos de pesquisas dos artigos, que tem maior enfoque em aspectos epistêmicos. Nesse conjunto, há indícios de que a HdC promove a aprendizagem conceitual, bem como a aprendizagem sobre NdC e o interesse dos participantes.

A maior parte dos trinta e dois artigos analisados estão situados em contextos de pesquisa europeus (16 de 32), seguidos por oito pesquisas na América (cinco no Brasil e três nos EUA). Embora outros seis artigos estejam situados em contextos asiáticos, além de uma pesquisa na Eurásia (Alisir e Irez, 2020), apenas um artigo foi desenvolvido na Oceania (Lewthwaite *et al.*, 2012) e nenhum artigo em países africanos.

### 2.2.1 Objetivos das pesquisas empíricas

Nesta subseção, abordamos a questão “Quais são os principais objetivos das pesquisas empíricas sobre o uso da HdC nas aulas de Física?”. Para conduzir essa análise, utilizamos como referência a classificação feita na revisão de Seroglou e Koumaras (2001). Em síntese, esses autores categorizaram os objetivos de pesquisa em termos da aprendizagem pretendida, que pode ser cognitiva, metacognitiva, prática ou emocional. Ou seja, a categorização de um artigo não depende necessariamente dos detalhes das questões de pesquisa que ele aborda, mas sim da intenção pedagógica do estudo. De acordo com os autores, a dimensão cognitiva está associada ao aprendizado de conceitos científicos, enquanto a dimensão metacognitiva se refere ao aprendizado sobre a natureza da ciência. Por outro lado, a dimensão emocional abrange aspectos como engajamento,

comportamento, interesse, motivação, atitudes em relação à ciência, entre outros. Por fim, a dimensão prática está alinhada ao aprendizado de procedimentos científicos.

Em nossa revisão, propomos uma releitura da categorização de Seroglou e Koumaras (2001) para atualizar a terminologia original à luz das perspectivas atuais no campo da educação, particularmente no ensino de Física. Por exemplo, atualmente, o aprendizado de conceitos não é rotulado como o único processo de aprendizado no nível da cognição; aprendizagem de qualquer nível envolve um processo cognitivo. Na mesma linha de pensamento, o aprendizado metacognitivo não é atualmente associado ao aprendizado de elementos de NdC, mas sim ao desenvolvimento da autoconsciência, ou seja, da consciência do indivíduo em relação ao seu próprio processo de aprendizado. A seguir, sintetizamos a caracterização utilizada.

- Conceitual — originalmente pertencente à categoria Cognitiva (Seroglou e Koumaras, 2001), esta dimensão está associada à compreensão de conceitos científicos e suas inter-relações, às metodologias empregadas no contexto do ensino de Física, além de habilidades de resolução de problemas e à atenuação de concepções alternativas dos alunos.
- Filosófica/epistêmica — correspondendo à categoria Metacognitiva (Seroglou e Koumaras, 2001), esta dimensão está vinculada ao aprendizado de elementos relacionados à NdC e às relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente (CTSA). Embora conectada à compreensão de conceitos científicos, esta categoria foca no conteúdo ontológico desses conceitos, assim como nos aspectos epistemológicos dos processos científicos e da construção do conhecimento.
- Emocional — mantendo a terminologia original (Seroglou e Koumaras, 2001), esta dimensão abrange aspectos atitudinais e emocionais, como despertar o interesse e a motivação dos alunos, intenções comportamentais, engajamento, metacognição, autorregulação, autoeficácia, entre outros. Em geral, abrange qualquer objetivo de pesquisa que avalie as atitudes dos participantes, seja em relação à ciência ou ao processo de ensino/aprendizagem como um todo.
- Procedimental — anteriormente referida como a categoria Prática (Seroglou e Koumaras, 2001), negligenciada na revisão dos autores, esta dimensão abrange o aprendizado de procedimentos experimentais ou teóricos, técnicas e métodos, como

realizar medições, construir gráficos e diagramas, estimar erros e ordens de grandeza, e formular hipóteses.

Dos 32 artigos analisados, 16 apresentaram objetivos relacionados à dimensão Filosófica/Epistêmica (50%), enquanto dez apresentaram objetivos de natureza Conceitual (31%) e 12 de natureza Emocional (38%). Vale ressaltar que, assim como no artigo de Seroglou e Koumaras (2001), não foram identificados artigos com objetivos Procedimentais. Em outras palavras, dentro dos nossos critérios de exclusão, não encontramos nenhuma pesquisa com relatos de aplicações didáticas investigando o uso da HdC no ensino de Física com o objetivo de proporcionar habilidades procedimentais. Devido à especificidade dos nossos critérios, não se pode afirmar que não há conexão entre a HdC e o aprendizado procedimental no ensino de Física, mas acreditamos que as informações obtidas são valiosas, apontando para uma relação incipiente entre a HdC e a aprendizagem Procedimental. Este assunto será discutido posteriormente nas conclusões desta revisão (ver Seções 2.2.5 e 2.3).

Além disso, entre os 32 artigos analisados, não encontramos implementações didáticas associadas às agendas emergentes, discutidas na Seção 2. Ao longo do Estudo 1, contraporemos certos artigos que possuem o potencial de abordar essas agendas de uma maneira análoga a outras pesquisas da área.

Por outro lado, como se pode observar da Tabela 2.1, houve uma distribuição equilibrada entre as categorias apresentadas, embora haja leve prevalência de artigos focados na aprendizagem Filosófica/Epistêmica. Essa dimensão, de modo geral, esteve alinhada com o desenvolvimento de elementos da NdC.

Tabela 2.1 – Quantidade de artigos por objetivo de pesquisa

<b>Dimensão do Objetivo de Pesquisa</b>	<b>Quantidade (artigos)</b>	<b>% (n=32)</b>
Filosófica/Epistêmica	16	50
Emocional	12	38
Conceitual	10	31
Procedimental	0	0

Fonte: elaboração própria

Nas seções a seguir, discutiremos sobre os objetivos de pesquisa referentes a cada dimensão de aprendizagem, apresentando exemplos de artigos relacionados a cada uma delas.

### 2.2.1.1 Dimensão Filosófica/Epistêmica

Como exemplo da dimensão filosófica/epistêmica, o objetivo da pesquisa de Bagdonas e Silva (2015) foi investigar as concepções de professores em formação sobre a relação entre ciência e religião para apoiá-los em discussões sobre a natureza da ciência. Eshach *et al.* (2013, p. 3) visam “*examinar o potencial ou a eficácia do ensino de NdC por meio de histórias de prêmios Nobel*” (tradução nossa). Vale ressaltar que nenhum dos 16 artigos com objetivos nessa dimensão discutiram tópicos relacionados às agendas emergentes. Dez artigos mencionaram NdC de forma geral em seus objetivos de pesquisa, enquanto seis outros focaram em aspectos específicos, mas ainda permaneceram distantes dessas questões. Por exemplo, Bagdonas e Silva (2015) exploram especificamente as relações entre ciência e religião; Schvartzer *et al.* (2021) exploram o papel das representações matemáticas na investigação científica; o foco na relação entre ciência e aspectos socioculturais é mais proeminente em Kolokouri e Plakitsi (2012) e Gandolf (2021).

Há referências sutis à decolonialidade no artigo de Gandolf (2021). No entanto, esse não é o foco principal dessa pesquisa. Ela articula HdC para se aprofundar em elementos epistemológicos/filosóficos interligados a características do desenvolvimento científico. Por exemplo, as colaborações entre cientistas, a exploração e as disputas relacionadas aos recursos naturais, além de aspectos políticos, financeiros e éticos.

Estudos que interconectam temas de decolonialidade com o ensino de ciências, de maneira geral, apontam para a necessidade de reformas curriculares visando confrontar políticas neoliberais (Kato *et al.*, 2023) e impulsionar a representação de povos historicamente marginalizados — como africanos e comunidades indígenas — contra um pano de fundo de “racismo científico” (Alves-Brito, 2021). Moura *et al.* (2023) defendem assertivamente a adoção de uma abordagem cultural-histórica no ensino de ciências, imbuída de uma dimensão política indispensável. Sua posição visa desconstruir as Ciências Modernas Ocidentais e engajar-se em um discurso sobre as ciências pós-coloniais. Segundo os autores, a “*historicização dos conteúdos pode problematizar a alegada neutralidade do conhecimento científico, algo que é usado para encobrir o caráter político da educação científica*” (Moura *et al.*, 2023, p. 690, tradução nossa). O trabalho de Govender e Mudzamiri (2022), por exemplo, propõe um modelo

pedagógico que integra a Física e a cultura indígena, estruturado em torno de seis elementos que destacam os aspectos históricos, sociais, culturais e práticos dessa cultura.

### 2.2.1.2 Dimensão Conceitual

Na dimensão cognitiva, Stein *et al.* (2015), por exemplo, propõem investigar o impacto de uma nova estrutura conceitual para o ensino do conceito de peso, fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Os autores buscam entender como os alunos conceitualizam construções como direções para cima e para baixo, peso e gravidade antes e depois da intervenção projetada (veja a Seção 2.2.5). De maneira semelhante, Bächtold e Munier (2018) visam investigar a aprendizagem do conceito de energia por participantes envolvidos em uma estratégia de ensino específica chamada “reconstrução didática” (“*didactical reconstruction*”), resumida na pergunta de pesquisa: “*Uma estratégia de ensino de energia construída à luz da HdC e que introduza alguns elementos da HdC ajuda os estudantes do ensino médio a compreender melhor o conceito de energia, a noção de transformação de energia e o princípio da conservação da energia?*” (tradução nossa). A estratégia se baseia no “programa didático de reconstrução histórica” (“*didactical program of historical reconstruction*”), onde materiais históricos são utilizados para discutir tanto a epistemologia de um conceito quanto as dificuldades dos alunos. Por outro lado, de Hosson e Decamp (2014) se aprofundaram no conhecimento construído pelas culturas chinesa e grega para ensinar sobre modelos de propagação da luz e a forma da Terra, incorporando o experimento de Eratóstenes e as contribuições do livro chinês Chin Sui sobre cosmologia.

Embora esses tópicos possuam um imenso potencial para conexão com perspectivas decoloniais no ensino, os estudos realizados estão centrados na aprendizagem conceitual. É notável que tais temas também poderiam ser associados a tópicos de pós-verdade, em contraste, por exemplo, com crenças de terraplanismo, tanto do ponto de vista teórico (Martins, 2020) quanto prático. Artigos como o de Santos *et al.* (2021), apesar de não realizarem pesquisa empírica e, portanto, não serem incluídos no corpus desta revisão de literatura, empregam o experimento histórico de Eratóstenes para problematizar o modelo de Terra plana.

Azevedo (2023) aborda o mesmo tema, mas avança na discussão sociopolítica sobre a Biblioteca de Alexandria na Grécia Antiga, como, por exemplo, a negação do acesso a população geral. Por outro lado, a crise de confiança na ciência poderia ser problematizada em aulas de Física sobre mudanças climáticas ou aquecimento global, utilizando questões como: “*Houve outros períodos em que a ciência foi colocada em questão? Se sim, por quê?*” Essa abordagem facilita uma discussão sobre a crise da identidade científica no pós-Segunda Guerra Mundial.

### 2.2.1.3 Dimensão Emocional

A dimensão emocional pode ser exemplificada por Levrini *et al.* (2014), cujo objetivo geral é explorar as reações dos alunos a uma aula estruturada na metodologia de disciplina-cultura (“*Discipline-Culture Framework*”), que é ainda desdobrada em outras questões de pesquisa, como “*Como os alunos reagiram à palestra que estrutura o conteúdo familiar? Em particular, a ênfase nas teorias fundamentais [...] foi apreciada pelos alunos e professores, considerada nova e inovadora?*” e “*Que tipo de discussões em sala de aula foi inspirada pela palestra? A palestra ressoou com os interesses dos alunos, dada a pluralidade de suas preferências epistemológicas? Que fatores foram especialmente atraentes?*” (tradução nossa). Por outro lado, Alisir e Irez (2020), o único artigo que aborda explicitamente atitudes em relação à ciência, tem como uma de suas questões de pesquisa “*A participação na replicação de aparatos científicos históricos influencia as atitudes dos alunos em relação à ciência?*” (tradução nossa).

Apesar de a dimensão emocional da aprendizagem não ter sido associada com a agenda da justiça social no escopo dessa revisão, compreendemos que o tema poderia ser aprofundado através da perspectiva HdC, como sugerido na literatura. O trabalho de Daane *et al.* (2017), sobre uma implementação didática para problematizar “*quem faz Física?*” (principalmente pessoas brancas), apesar de não recorrer à HdC, poderia ser complementado. Como exemplo, a introdução das discussões feitas em Alves-Brito *et al.* (2020), sobre o trabalho de Cheikh Anta Diop (1923–1986), poderia impactar nas atitudes dos alunos em relação à Física, algo que tende a não mudar ou até mesmo a piorar entre alunos não-brancos (Nissen *et al.*, 2021). No caso da narrativa de Diop, o estudo histórico facilita a contemplação e

propulsiona o discurso em sala de aula sobre o papel desempenhado por um cientista negro africano na ciência. Notavelmente, pode-se destacar como o acadêmico senegalês, em seus estudos sobre egiptologia e impulsionado pela tese de que “o Antigo Egito era negro”, transcendeu diversos domínios científicos para advogar pela representação de uma raça (Alves-Brito *et al.*, 2020). Suas contribuições para a Física culminaram em tecnologias de datação de carbono-14 e medição de melanina, permitindo determinar que amostras de múmias egípcias eram remanescentes de indivíduos de ascendência africana.

De maneira semelhante, existem múltiplas formas pelas quais as identidades dos alunos são excluídas nas aulas de Física (Hazari *et al.*, 2015; Herry *et al.*, 2023). Como exemplo, o empirismo branco e a assimetria de prestígio<sup>3</sup> apontados por Prescod-Weinstein (2020) explicam a diminuição da presença de mulheres negras na ciência. Mesmo o prestígio conferido a algumas áreas da ciência em detrimento de outras — como a Física nuclear em comparação à Física da matéria condensada — poderia ser discutido sob uma perspectiva histórica, por exemplo, no estudo das contribuições de Vera Rubin à pesquisa sobre a matéria escura. Além disso, o conceito de identidade poderia ser estimulado por meio de estudos sobre as contribuições de cientistas de uma nação específica. Gurgel *et al.* (2014) investigaram as percepções dos alunos sobre a Física enquanto parte da cultura brasileira, discutindo as contribuições de Cesar Lattes (1924–2005) na modelagem das forças nucleares e nas experimentações sobre mésons. Os autores concluem que, “*em condições normais, os alunos não estão cientes da contribuição brasileira para a ciência*” e que “*essa falta de consciência levou a uma visão que criou uma incompatibilidade cultural entre ser parte de uma nação brasileira e ser parte da produção científica*” (Gurgel *et al.*, 2014, p. 363, tradução nossa).

---

<sup>3</sup> O empirismo branco pode ser compreendido como o fenômeno em que apenas pessoas brancas, e particularmente homens brancos, são vistas como capazes de exercer a objetividade (Prescod-Weinstein, 2020). Nessa perspectiva, o empirismo branco opera como um mecanismo por meio do qual uma assimetria de prestígio entre pessoas negras e brancas é produzida e mantida. Isso resulta em uma dominação dos discursos empíricos e em um uso contraditório dos “métodos científicos” por pessoas brancas, visando sustentar barreiras entre brancos e não brancos, predeterminando grande parte do papel deste último nas atividades científicas.

### 2.2.2 Metodologias das pesquisas

Nesta subseção, a questão a ser respondida foi: *Quais são os métodos mais utilizados nas pesquisas empíricas sobre o uso da HdC no ensino de Física?* Com esse objetivo, categorizamos os artigos em três tipos: pesquisa qualitativa, pesquisa quantitativa e pesquisa de métodos mistos. Em resumo, a pesquisa empírica sobre o uso da HdC nas aulas de Física é predominantemente qualitativa. Dos 32 artigos revisados, 28 são totalmente qualitativos, e apenas um é totalmente quantitativo (Oh e Lederman, 2018), enquanto os três artigos restantes (Levrini *et al.*, 2014; Rutt e Mumba, 2019; Chen *et al.*, 2022) envolvem métodos mistos. É importante notar que, inicialmente, essa descrição foi feita com base na classificação dos próprios autores em relação às suas pesquisas, ou seja, se os pesquisadores definem seus estudos como qualitativos ou quantitativos. Na ausência de um posicionamento, um estudo foi considerado quantitativo se empregasse métodos estatísticos para a análise dos dados coletados. Por exemplo, a pesquisa de Oh e Lederman (2018) utilizou testes de Wilcoxon e a plataforma estatística IBM® SPSS® para análise de dados, e, portanto, foi considerada quantitativa. Da mesma forma, o artigo de Chen *et al.* (2022), que empregou métodos mistos, utilizou testes *t*, ANCOVA e ANOVA na abordagem quantitativa para comparar questionários iniciais e finais, enquanto na abordagem qualitativa, criaram livremente um sistema de pontuação para a qualidade dos materiais produzidos pelos participantes da pesquisa.

Há uma prevalência de questionários como procedimento de coleta de dados. Dos 32 artigos analisados, 21 utilizaram questionários (66%). Em seguida, há uma distribuição equilibrada, com 13 artigos empregando entrevistas (41%), 12 artigos realizando gravações/transcrições de aulas (38%) e outros 12 artigos analisando materiais produzidos pelos participantes (38%). Além disso, diários de aula dos professores foram utilizados como instrumento de coleta de dados em sete artigos (22%).

### 2.2.3 Referenciais de ensino e aprendizagem das pesquisas

A maioria das pesquisas não está alinhada com referenciais teóricos de ensino e aprendizagem. Dos 32 artigos revisados, apenas em quatorze (44%) as

implementações didáticas relatadas foram estruturadas com base em uma estrutura específica. No entanto, vale ressaltar que os referenciais teóricos utilizados pelas pesquisas variam desde a mobilização de teorias de aprendizagem, metodologias de ensino ou teorias de organização do conhecimento. Os referenciais teóricos aplicados nesses estudos estão apresentados no Quadro 2.2.

Quadro 2.1 – Referenciais teóricos de ensino e aprendizagem utilizados nas implementações didáticas

<b>Autores do artigo</b>	<b>Ano</b>	<b>Referencial Teórico (RT) (termo original)</b>	<b>Autores do RT</b>
Kolokouri e Plakitsi	(2012)	Teoria da atividade histórico-cultural (Cultural Historical Activity Theory)	Engeström, Y.
Mäntylä, T.	(2012)	Abordagem histórico-cognitiva (Cognitive-Historical Approach)	Neressian, N. J.
Lewthwaite <i>et al.</i>	(2012)	Modelo de aprendizagem transformativa. (Model of Transformative Learning)	Mezirow, J.
De Hosson e Décamp	(2013)	Engenharia didática (Didactic Engineering)	Méheut e Psillos
Levrini <i>et al.</i>	(2014)	Metodologia Disciplina-cultura (Discipline-Culture Framework)	Tseitlin e Galili
Stein <i>et al.</i>	(2015)	Aprendizagem significativa (Meaningful Learning)	Ausubel, D. P.
Melo e Bächtold	(2018)	Aprendizagem cíclica (Cyclic Learning)	Kelly, G.
Bøe <i>et al.</i>	(2018)	Sociointeracionismo (Sociointeracionism)	Vygotsky; Mortimer e Scott.
Bächtold e Munier	(2018)	Reconstrução didática (Didactic reconstruction)	de Hosson, C.
Oh e Lederman	(2018)	Conflito cognitivo (Cognitive conflict)	Piaget, J.
Rutt e Mumba	(2019)	Conhecimento de conteúdo pedagógico (Pedagogical content knowledge)	Shulman, L. S.
Stefanidou <i>et al.</i>	(2020)	Abordagem integrada da NdC (Integrated Approach to NOS)	Niaz, M.
Jardim <i>et al.</i>	(2021)	História cultural da Ciência (Cultural History of Science)	Variados
Volfson <i>et al.</i>	(2022)	Conhecimento fragmentado (Knowledge-in-pieces)	DiSessa, A. A.

Fonte: elaboração própria

É importante destacar uma distribuição heterogênea de abordagens, com nenhum referencial sendo utilizado em mais de um artigo. Podemos observar uma leve prevalência de perspectivas cognitivas/construtivistas, como visto nos artigos de Dibattista e Morgese (2013), Lewthwaite *et al.* (2012), Stein *et al.* (2015), Melo e Bächtold (2018), Oh e Lederman (2018) e Volfson *et al.* (2022). No entanto,

considerando a significativa lacuna nos outros 18 artigos que não relatam nenhum referencial teórico como guia para suas intervenções pedagógicas, podemos inferir que o uso da HdC no ensino de Física não está alinhado a nenhuma perspectiva teórica específica.

#### **2.2.4 Concepções de NdC e conteúdos de Física nas pesquisas**

Nesta etapa, respondemos à pergunta: *Existe uma concepção hegemônica sobre a NdC entre as pesquisas empíricas analisadas?* Inicialmente, vale a pena notar que, nas implementações didáticas dos 32 estudos, elementos da NdC foram incorporados juntamente com os conteúdos curriculares de Física em 18 deles (56%). No entanto, apenas em oito artigos (44%) aspectos da NdC foram ensinados a partir de uma perspectiva teórica específica. Dentre esses, destacam-se as *visões consensuais* de Lederman (2007) (Eshach *et al.*, 2013; Fouad *et al.*, 2015; Oh e Lederman, 2018; Melo e Bächtold, 2018; Koumara, 2022) e de McComas (2020) (Schiffer e Guerra, 2015; Chen *et al.*, 2022).

O primeiro, tradicionalmente reconhecido como “Lederman Seven” (Fouad *et al.*, 2015), destaca sete aspectos da NdC importantes para serem discutidos no ensino de ciências, sugerindo um foco explícito a eles em sala de aula. Esses aspectos incluem, por exemplo, ideias como “a ciência é baseada em observações”, “o conhecimento científico depende da criatividade e imaginação humanas”, “a ciência é uma empreitada sociocultural”, “o conhecimento científico é subjetivo e está sujeito a mudanças” (Lederman, 2007, tradução nossa). A lista consensual de McComas é bem maior do que a anterior, composta por 16 itens (Marín *et al.*, 2013), alguns dos quais são semelhantes aos aspectos de Lederman, mas também incluem ideias como “não há uma única maneira de produzir conhecimento científico”, “a ciência tem implicações globais”, “os cientistas tomam decisões éticas”, “novo conhecimento científico deve ser comunicado de forma clara e aberta”, “todas as culturas contribuem para a ciência”.

Além dessas visões consensuais<sup>4</sup>, outras interfaces entre aspectos da NdC e diferentes segmentos foram analisadas. Por exemplo, no estudo das teorias do estado estacionário e do Big Bang, Bagdonas e Silva (2015) exploraram as relações estabelecidas por professores em formação entre ciência e religião. De acordo com Barbour (1990), existem quatro teses de interação entre essas áreas — conflito (ciência e religião são "inimigas"), independência (ciência e religião são "incomensuráveis", não relacionadas), integração (ciência e religião são epistemologicamente semelhantes e ambas podem buscar conhecimento) e diálogo (ciência e religião podem dialogar abertamente e se inspirar mutuamente). Os autores se propuseram a investigar se as concepções desses professores poderiam mudar com as discussões dos argumentos políticos e religiosos que foram utilizados para debater essas teorias controversas.

Schiffer e Guerra (2015) também se inspiram na lista consensual de McComas para discutir aspectos da NdC em uma turma brasileira do nono ano. Entretanto, no estudo da controvérsia entre Galvani e Volta sobre eletricidade animal, os autores também discutiram alguns aspectos pseudocientíficos propostos por Allchin (2004). Por exemplo, problematizaram o romance do “gênio solitário”, que enfatiza a contribuição excessiva de uma única pessoa na construção do conhecimento científico.

Nos estudos restantes, a NdC foi abordada sem compromisso com qualquer estrutura teórica específica. Nesses casos, ela foi apresentada ou discutida sem uma categorização prévia. Por exemplo, o papel da matemática na Física/ciência foi discutido em alguns artigos sem fundamentações teóricas específicas (Schvartzer *et al.*, 2021; Stefanidou *et al.*, 2020). Mäntylä (2013) propõe uma discussão sobre o papel dos experimentos e de modelos na formação de conceitos físicos, neste caso, a lei da indução do eletromagnetismo. Por meio de uma “reconstrução cognitivo-histórica”, que envolve o estudo de modelos/práticas históricas em contraste com o conhecimento atualmente aceito, o autor busca promover entre professores em formação o aprendizado sobre “como os conceitos e leis Físicas são ou podem ser formados e justificados” (Mäntylä, 2013, p. 1361, tradução nossa). Isso leva à ideia de que os modelos são mediações entre experimento e teorização. No entanto, esse

<sup>4</sup> Nesse contexto, a palavra "consensual" possui um significado técnico polissêmico. Por exemplo, para McComas (2020), isso significa que, de maneira geral, há um amplo acordo sobre os elementos da Natureza da Ciência que devem ser abordados no ensino de ciências, mas não é necessariamente imperativo que todos os envolvidos no apoio ao ensino de ciências compartilhem os mesmos aspectos recomendados.

processo não dispôs de nenhuma estrutura prévia sobre essa característica da NdC de forma que orientasse a implementação do autor.

Esses pontos nos permitem sugerir que não há uma concepção predominante da NdC nas pesquisas empíricas analisadas, embora existam algumas visões consensuais proeminentes. É importante mencionar que diferentes abordagens sobre os aspectos da NdC podem variar em relação à sua abertura para a pesquisa, e para a pesquisa empírica em particular (Deng *et al.*, 2011). As visões consensuais de elementos da NdC parecem ser mais acessíveis em uma instância didática, sendo, portanto, mais tangíveis para serem investigadas. Por outro lado, existem críticas à ideia de condensar as características da NdC em uma lista de itens, como apontado por Allchin (2017). Isso tende a levar a visões mais abertas e, ao mesmo tempo, complexas sobre a NdC, que não podem ser reduzida a sentenças objetivas sobre como a ciência funciona.

Com relação aos conteúdos curriculares de Física nas pesquisas analisadas, há uma prevalência de Mecânica e Eletromagnetismo. Onze artigos (34%) abordam a Mecânica, enquanto dez artigos (31%) focam em Eletromagnetismo e oito (25%) em Física moderna. As áreas de Óptica e Termodinâmica foram abordadas com menos frequência, ambas em cinco artigos (16%). Apenas o artigo de Volfson *et al.* (2022) aborda tópicos em Mecânica Ondulatória, particularmente em Acústica, enquanto Bächtold e Munier (2018) exploram especificamente o conceito de energia.

### **2.2.5 Metodologias de ensino nas implementações das pesquisas**

Nesta etapa, respondemos à pergunta: *Quais são as principais abordagens didáticas utilizadas nas implementações das pesquisas empíricas sobre o uso da HdC no ensino de Física?* Com essa intenção, buscamos identificar nos artigos as ações-chave dos professores, as atividades e tarefas realizadas pelos alunos, os recursos educacionais e os instrumentos de avaliação utilizados (quando aplicável).

Inicialmente, analisamos o contexto educacional dos estudos, ou seja, se as implementações didáticas relatadas foram realizadas na educação básica, na educação superior ou em ambientes informais. A partir das pesquisas empíricas revisadas, conclui-se que o uso da HdC é investigado principalmente em contextos de educação básica (59%), conforme evidenciado em 19 artigos, enquanto a educação superior (41%) foi o foco de estudo em 13 artigos. Não houve artigos

relatando implementações em ambientes informais. Entre os 19 artigos focados na educação básica, cinco apresentaram um viés de formação de professores, enquanto nos 13 artigos focados na educação superior, essa intenção foi apresentada em 12 deles.

As implementações didáticas descritas nos 32 estudos revisados abrangeram uma variedade de abordagens e atividades. Entre elas, as aulas expositivas se destacaram em 19 artigos (59%), e as atividades em grupo foram mencionadas em 14 artigos (44%). Além disso, 11 artigos empregaram atividades de leitura/escrita (34%).

Vale ressaltar que, além de sete artigos que promoveram discussões em sala de aula (22%), outros oito artigos incluíram atividades experimentais (25%) em suas implementações. Três implementações declararam explicitamente objetivos pedagógicos procedimentais. Por exemplo, Fouad *et al.* (2015, p. 14) listaram um de seus objetivos instrucionais como “*calcular o volume de objetos medindo a diferença no nível da água ao serem imersos em um cilindro graduado*” (tradução nossa). De forma semelhante, Jardim *et al.* (2021) estabeleceram o objetivo de manipular experimentalmente o frasco de Leiden e reproduzir o experimento de Nollet. Surge, então, o questionamento: se atividades experimentais foram propostas em salas de aula com abordagens históricas, por que nenhum desses artigos apresentou objetivos de pesquisa de natureza procedimental?

Uma possibilidade é que essas atividades experimentais tenham sido elaboradas sob a premissa de alcançar um objetivo pedagógico a partir de outra dimensão, como a conceitual ou epistêmica. Nesse caso, um experimento didático em uma abordagem histórica mais ampla é, de certa forma, um passo intermediário para discutir ou aprender sobre algo além dos aspectos procedimentais do próprio experimento. Isso novamente poderia indicar uma conexão fraca entre HdC e a aprendizagem procedimental. É de certa forma instigante, por exemplo, a considerável quantidade de experimentos históricos e anotações de laboratório de cientistas que poderiam ser estudados em sala de aula de Física, com a intenção de ensinar sobre habilidades procedimentais, como medir e estimar incertezas experimentais. No entanto, essa possibilidade não foi identificada em nossa revisão como um objetivo de pesquisa.

Como mencionado, é possível observar uma certa prevalência de abordagens expositivas nas implementações da pesquisa. No entanto, não é preciso afirmar que

as implementações são essencialmente expositivas, uma vez que apenas quatro artigos relataram o uso exclusivo de exposições conceituais em suas intervenções (Lewthwait *et al.*, 2012; Stein *et al.*, 2015; Oh e Lederman, 2017; Koumara, 2022). Todos os outros 15 artigos combinaram suas exposições com pelo menos uma outra abordagem ou atividade. Por exemplo, Velentzas e Halkia (2013), cuja pesquisa foi baseada na implementação de uma única lição, combinaram exposições conceituais com sessões de resolução de problemas. De forma semelhante, o artigo de Jardim *et al.* (2021) alternou entre aulas expositivas e atividades em grupo, atividades de leitura/escrita e discussões em sala de aula. Em geral, identificamos sete casos em que aulas expositivas foram combinadas com atividades em grupo, seis casos com atividades de leitura/escrita, seis casos com atividades experimentais, cinco casos com sessões de diálogo e três casos com atividades de resolução de problemas.

Outro achado interessante é a baixa adesão de atividades de resolução de problemas (12,5%), presentes em apenas quatro artigos (Velentzas e Halkia, 2013; Fouad *et al.*, 2015; Bächtold e Munier, 2018; Chen *et al.*, 2022), apesar de dez artigos (31%) apresentarem objetivos conceituais para suas pesquisas. De fato, nos casos de Fouad *et al.* (2015) e Chen *et al.* (2022), os objetivos da pesquisa eram de natureza Filosófica/epistêmica. Nesse sentido, podemos inferir que HdC não está alinhada com o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas em Física.

Essa variedade de estratégias, em muitas ocasiões, foi articulada por meio de diferentes metodologias. Por exemplo, Stein *et al.* (2015) articulam o que chamam de “excursão histórico-fenomenológica” juntamente com uma metodologia construtivista dialógica denominada “jornada de pensamento” (“*Thinking journey*”) para o ensino do conceito de peso. Enquanto a primeira refere-se a uma demonstração experimental de uma mola caindo carregada de peso, onde se assume que a “excursão” “*introduziu os alunos ao discurso sobre fenômenos naturais*” (Stein *et al.*, 2015, p. 1239, tradução nossa), a última gira em torno de imagens de diferentes situações Físicas onde um conceito é mobilizado, visando discutir semelhanças e diferenças em diversos contextos.

Como exemplo contrastante, o ensino do conceito de energia por Bächtold e Munier (2018) se baseou em três princípios. O primeiro diz respeito à importância de entender a complexa e histórica rede em torno da definição de energia. O segundo, baseia-se nas sutis, mas essenciais, diferenças a serem aprendidas entre o conceito

de energia e outros relacionados, como o conceito de trabalho. O último afirma a importância de uma “impregnação empírica” para uma compreensão plena do conceito de energia, ou seja, entrar em contato com o maior número possível de situações diferentes onde o conceito pode ser mobilizado. Esses princípios os levaram a cinco momentos didáticos: o estudo do experimento histórico da roda de pás de Joule, o estudo da definição de energia de Rankine, um texto histórico do trabalho de Joule, uma atividade utilizando cartões ID de energia e o estudo de aplicações do princípio da conservação.

Por fim, realizamos uma breve análise dos materiais de conteúdo histórico utilizados ao longo dos 32 artigos. Vários materiais e recursos foram identificados, variando de fontes primárias, como artigos científicos originais ou manuscritos e discursos de Prêmio Nobel (Eshach *et al.*, 2013), a fontes secundárias, como artigos que discutem obras científicas originais, biografias, documentários, replicação de aparelhos experimentais (Stefanidou *et al.*, 2020; Jardim *et al.*, 2021) e museus (Alisir e Irez, 2020). Além disso, materiais preparados por professores e alunos especificamente para implementações didáticas, como narrativas e textos dramáticos (Schiffer e Guerra, 2015; Koumara, 2022) e peças teatrais (Melo e Bächtold, 2018), também foram utilizados. No entanto, é importante observar que apenas 17 artigos descreveram as fontes do material histórico utilizado. Dentre esses, nove artigos utilizaram fontes primárias, quinze artigos usaram fontes secundárias e sete artigos empregaram fontes mistas. Em outras palavras, apenas dois estudos usaram exclusivamente fontes primárias. Oh e Lederman (2018) referiram-se ao “Diálogo sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo” de Galileo Galilei, e Schvartzer *et al.* (2021) usaram uma página catalogada chamada “folio 116v”, contendo anotações de laboratório e cálculos, também de Galileo, para discutir o papel da matemática na Física e na pesquisa científica.

### **2.2.6 Resultados e conclusões das pesquisas empíricas**

Nesta subseção final, respondemos à pergunta: *Quais são as principais conclusões e resultados apresentados pela pesquisa empírica sobre o uso de HdC nas aulas de Física?* Para isso, extraímos trechos dos 32 artigos analisados que expressaram as conclusões dos autores sobre os efeitos das implementações

didáticas relatadas e os resultados da análise dos materiais coletados, bem como o impacto das abordagens baseadas em HdC nas aulas de Física.

As conclusões apresentadas pelas pesquisas são resumidas pelo número de artigos na Tabela 2.2, organizadas com base na mesma categorização dos objetivos dos artigos (ver Seção 2.2.1). Inicialmente destacamos um desalinhamento entre a proporção de conclusões apresentadas e os objetivos das pesquisas. Remetendo à Tabela 2.1, que trata dos objetivos das pesquisas, 16 artigos eram de natureza Filosófica/Epistêmica, 12 eram Emocionais e 10 eram Conceituais. No entanto, no que diz respeito às conclusões apresentadas, essa proporção é alterada: 21 artigos apresentam conclusões da dimensão Conceitual, 17 artigos apresentam conclusões Filosófico/epistêmicas e 13 artigos apresentam conclusões Emocionais. Além disso, incluímos uma categoria para indicar artigos que apresentam conclusões sobre habilidades de ensino.

Tabela 2.1 – Conclusões das pesquisas da revisão

<b>Dimensão</b>	<b>Tipo de Conclusão</b>	<b>Quantidade (Artigos)</b>	<b>RT Explícito</b>	
<b>Conceitual</b> n=21 antes n=10	Ampliação de conhecimento conceitual	18	6	45%
	Identificação de concepções alternativas	3	3	
	Reforço de concepções alternativas	1	1	
<b>Filosófica/Epistêmica</b> n=17 antes n=16	Ampliação de conhecimento sobre NdC	15	13	79%
	Não ocorrência de aprendizagem	2	1	
	Reforço de concepções alternativas	2	1	
<b>Emocional</b> n=13 antes n=12	Aumento de interesse de estudantes	8	2	50%
	Redução de interesse de estudantes	1	1	
	Melhora de atitude em relação a ciência	2	1	
	Sem ocorrência de aprendizagem	2	1	
	Aumento de auto-eficácia	1	1	
	Identificação de baixo nível de auto-eficácia	2	2	

Fonte: elaboração própria

Além desse desalinhamento, buscamos examinar as relações entre as definições teóricas usadas pelos autores e as conclusões extraídas. Com esse intuito, analisamos, por exemplo, se um artigo que relata a ocorrência de

aprendizagem explícita um arcabouço teórico que fundamenta a noção de aprendizagem implícita nas conclusões apresentadas. A coluna "Referencial Teórico Explícito (RT explícito)" da Tabela 2.2 contabiliza artigos referentes a um tipo de conclusão sustentada por algum arcabouço teórico (por exemplo, arcabouço teórico e/ou definição explícita).

À luz disso, destacamos um nível mais elevado de fundamentação em estruturas teóricas nas conclusões relacionadas à dimensão Filosófico/epistêmica (79%), em contraste com as dimensões Conceitual (45%) e Emocional (50%). Esse resultado pode ser indicativo da conexão bem estabelecida na literatura entre a HdC e a NdC. Por outro lado, acentua uma incongruência metodológica mais pronunciada nas conclusões das outras dimensões. Isso nos permite sugerir que as conexões entre HdC e as diversas dimensões da aprendizagem, como os aspectos conceituais e emocionais, talvez ainda não sejam tão bem compreendidas e permaneçam um tanto elusivas na literatura da área.

Como exemplos, Eshach *et al.* (2013), Schifer e Guerra (2015), Fouad *et al.* (2015) justapõem as expressões dos participantes com visões consensuais da NdC e investigam o desenvolvimento do conhecimento desses indivíduos sobre ela. Em contraste, Koumara (2022) utiliza questionários VNdC (baseados na visão consensual de NdC de Lederman *et al.* (2014)), mas se abstém de adotar uma abordagem teórica para fundamentar conclusões sobre a aprendizagem do conceito de pressão. Na dimensão conceitual, Stein *et al.* (2015) recorrem a conceitos da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel para explorar a aprendizagem de estudantes do ensino médio nos conceitos de gravitação. Bächtold e Munier (2018) propõem quatro níveis de conceitualização (material, fenomenológico, semi-conceitual e conceitual) para investigar a aprendizagem do conceito de energia com base nas manifestações dos estudantes. Leone (2014) recorre a quatro modelos alternativos de corrente elétrica para investigar as concepções alternativas dos participantes sobre esse conceito.

No que diz respeito aos aspectos emocionais, Alisir e Irez (2020) utilizaram questionários pré-validados na literatura para medir as atitudes dos participantes em relação à ciência, bem como suas concepções sobre NdC. Bøe *et al.* (2018) utilizam o arcabouço de Ulriksen (2009) do "aluno implícito" para investigar as atitudes dos estudantes em aulas "tradicionais" e em aulas baseadas em uma abordagem histórica. Os autores concluíram que os participantes enfrentaram desafios com a

abordagem histórica devido às expectativas implícitas associadas ao perfil de um "aluno tradicional".

Além disso, destacamos a presença de 12 artigos (38%) que relataram o desenvolvimento de habilidades pedagógicas/ensino entre os participantes da pesquisa. Essa dimensão de conclusão e resultados era esperada, já que 53% das pesquisas estavam alinhadas com contextos de formação de professores (ver Seção 2.2.5). Entre as conclusões apresentadas, prevaleceram aspectos relacionados a melhorias no planejamento e nas abordagens dos professores (Mäntylä, 2012; Lewthwaite *et al.*, 2012; Karam e Krey, 2015; Rutt e Mumba, 2019; Jardim *et al.*, 2021; Koumara, 2022; Volfson *et al.*, 2022). Além disso, destacou-se o potencial da HdC para promover interdisciplinaridade (Levrini *et al.*, 2014; Kolokouri e Plakitsi, 2012), assim como a forma como a HdC permite a integração de conteúdos curriculares com aspectos de NdC (Schifer e Guerra, 2015) e como a HdC promove abordagens experimentais alternativas para o ensino de conteúdos (Leone, 2014).

Para uma melhor visualização do conteúdo das conclusões das pesquisas sobre o uso de HdC em aulas de Física, a Quadro 2.3 apresenta trechos que mostram os contrastes entre resultados/conclusões positivas e não positivas para cada dimensão da aprendizagem. Nas próximas seções, descreveremos alguns resultados e características dos artigos nas diferentes categorias utilizadas.

Quadro 2.1 – Exemplos de resultados positivos e negativos nas pesquisas revisadas.

Dimensão	Conclusão Positiva	Conclusão Negativa
<b>Conceitual</b>	<p><i>“Esta abordagem proposta destaca a importância de reconhecer os processos cognitivo-históricos que foram essenciais para a criação de novos conceitos científicos [...] Os resultados mostram que os [experimentos e os] modelos históricos desempenharam um papel fundamental na argumentação dos alunos ao justificar o conhecimento, o que não era o caso inicialmente. Além disso, em vez de apenas lembrar a fórmula da lei da indução, os alunos compreenderam melhor por que a lei é como é e sua origem.”</i></p> <p>(Mäntylä, 2012, tradução nossa)</p>	<p><i>“[...] discutir as definições de força e energia com base em um texto [histórico] pode ter levado a reforçar a confusão entre as duas noções, em vez de compreender suas diferenças”</i></p> <p>(Bächtold e Munier, 2018, tradução nossa).</p>
<b>Filosófica / Epistêmica</b>	<p><i>“[...] os alunos desenvolveram compreensões sobre como as práticas científicas mudaram ao longo da história e essas práticas envolveram diferentes</i></p>	<p><i>“Não foi encontrada diferença significativa entre os resultados do teste t para amostras pareadas comparando as</i></p>

	<p><i>peçoas (de diferentes grupos sociais, profissões, gêneros), de diferentes lugares, fazendo coisas diferentes, uma vez que algumas permaneceram em condições invisíveis, como as mulheres no século XVIII [...] os alunos pareceram compreender que as práticas científicas abrangem não apenas atividades consideradas exclusivamente laboratoriais, como ler, escrever, debater, questionar, mas também atividades associadas ao financiamento, grupos de pesquisa e comunicação científica.”</i> (Jardim et. al, 2021, tradução nossa)</p>	<p><i>compreensões dos alunos sobre a NOS antes e depois da intervenção. Este resultado indica que, de modo geral, a experiência de replicar aparatos científicos históricos não teve um impacto significativo nas compreensões dos alunos sobre a NOS.”</i> (Alisir e Irez, 2020, tradução nossa)</p>
<b>Emocional</b>	<p><i>“O teste t para amostras pareadas encontrou uma diferença significativa nas atitudes dos participantes em relação à ciência antes e depois da intervenção [...] Este achado indica que participar do processo de replicar aparatos científicos históricos afetou positivamente as atitudes dos alunos em relação à ciência.”</i> (Alisir e Irez, 2020, tradução nossa)</p>	<p><i>“Os resultados do pós-teste não indicam mudanças nas opiniões dos professores em formação sobre as relações entre ciência e religião. Poucos dos professores em formação mudaram suas posições iniciais, mantendo uma postura mais próxima da tese da Independência”</i> (Bagdonas e Silva, 2015, tradução nossa)</p>

Fonte: elaboração própria

Nesse recorte, encontramos pesquisas reforçando a noção geral, discutida no Capítulo 1 e no início do presente capítulo, de que a História da Ciência contribui para “atribuir sentido” ao conhecimento. A título de exemplo, no estudo de Stein et al. (2015), sobre o ensino de tópicos de gravitação, foi relatado que

“Os estudantes frequentemente rejeitaram a relevância das noções de “cima-baixo” no “espaço” e em naves espaciais [...] isso foi um indicativo do novo jeito que os estudantes fizeram sentido da realidade.” (Stein et al., 2015, p. 1254, tradução nossa).

Similarmente, na pesquisa de Bachtold e Munier (2018, p. 29) sobre o conceito de energia, os autores concluíram que “ao iluminar o significado e o papel da energia, a História da Ciência aparentou muita utilidade para conceber novas estratégias e ferramentas de ensino” (tradução nossa). Não obstante, no artigo de Alisir e Irez (2020, p. 1230) sobre o envolvimento de estudantes com a reprodução de aparatos científicos históricos, é relatado que “esse engajamento direto estimula os estudantes a terem um sentido de admiração sobre a natureza e o excitação sobre a ciência” (tradução nossa).

Nas seções a seguir, discutiremos sobre os resultados das pesquisas perante cada dimensão de aprendizagem, apresentando exemplos de artigos relacionados a cada uma delas.

### **2.2.6.1 Dimensão Conceitual**

No que diz respeito à dimensão Conceitual, 18 artigos (56%) apresentam resultados positivos para a aprendizagem conceitual. Motivados pelo resultado inconclusivo sobre a aprendizagem conceitual encontrado em Teixeira *et al.* (2012), foi realizada uma análise mais detalhada dos resultados em cada artigo. Essa análise baseou-se na classificação dos trechos em declarações “detalhadas” ou “genéricas” e se esses trechos consistiam apenas em “evidências” ou também incluíam “motivos” para a aprendizagem conceitual. Essa análise subsequente revelou que apenas 9 dos 18 artigos forneceram razões para a ocorrência do desenvolvimento conceitual. Por exemplo, Dibattista e Morgese (2013, p. 571) concluem que “*professores e alunos verificaram a aquisição de noções e conteúdos curriculares apresentados*”, apresentando uma declaração genérica sobre o aumento do conhecimento conceitual. Por outro lado, Stein *et al.* (2015, p. 1260) relatam como resultado do ensino de direções espaciais e gravitação que “*as concepções de direção universal ou arbitrária desapareceram, assim como o equívoco de que objetos precisam ser pesados (ou leves!) para serem sustentados pela gravidade*”, fornecendo um trecho detalhado composto apenas de evidências, mas sem razões para o desenvolvimento conceitual.

Exemplos de artigos que apresentaram razões para o desenvolvimento conceitual incluem Schifer e Guerra (2015), que atribuem méritos à abordagem da narrativa histórica, referindo-se a ela como uma “porta de entrada” para a discussão de conceitos científicos; de Hosson e Décamp (2014) relatam que atividades de modelagem permitiram aos participantes lidar com problemas de Física; e outro artigo atribui o desenvolvimento conceitual às atividades em grupo, afirmando que “*um fator chave no desenvolvimento conceitual dos alunos parece ser as conclusões que eles mesmos chegam durante a discussão com seus colegas*” (Velentzas e Halkia, 2013).

Entre os nove estudos que relataram razões para o aumento do conhecimento conceitual, não há prevalência de nenhuma razão em particular.

Assim, com base nesses números, podem-se fazer duas afirmações: (i) há uma lacuna na identificação do impacto real da HdC na aprendizagem conceitual, ou seja, por que ela produz resultados positivos, e (ii) não há evidências suficientes para sugerir que qualquer abordagem de HdC seja mais eficaz do que outra.

Ainda sobre a dimensão conceitual, três artigos destacaram a identificação de concepções alternativas<sup>5</sup> por meio do uso de HdC em aulas de Física. Um artigo, focado no ensino de conceitos gravitacionais, observou a identificação de duas barreiras conceituais: "não há gravidade no vácuo" e "a dificuldade de se deslocar mentalmente de um contexto cotidiano, em que um projétil sempre se move para baixo em direção à superfície da Terra, para um contexto em que toda a Terra é visível e é possível que um projétil se mova perpetuamente paralelo à superfície" (Velentzas e Halkia, 2013). Outro artigo, explorando o fenômeno das ondas sonoras em uma abordagem histórica, constatou que os alunos expressaram as concepções de que "o som é uma onda", "o som é corpuscular" e "o som tem uma natureza dual" (Volfson *et al.*, 2022, p. 6). O artigo de Leone (2014) tem como objetivo intencional identificar modelos mentais sobre circuitos elétricos de alunos do ensino fundamental, explorando se atividades derivadas da HdC podem oferecer *insights* sobre o tema. O autor investiga se modelos de circulação de corrente do século XIX — modelo unipolar, modelo de corrente em colisão, modelo de consumo de corrente e modelo de corrente constante — podem ser usados como instrumentos heurísticos para antecipar dificuldades nas conceitualizações dos estudantes. Para isso, foram empregados quatro métodos diagnósticos, que incluíram desenhos, atividades com cartões ID, testes de múltipla escolha e questões abertas sobre esquemas de circuitos elétricos. Além de identificar que o modelo de corrente elétrica mais prevalente entre os participantes foi o "modelo unipolar", o autor afirma que "*este estudo demonstra que o material de HdC pode nos ajudar a apreciar melhor as ideias espontâneas das crianças*" (Leone, 2014, p. 27). Embora a ocorrência de tais conclusões seja baixa ao longo dos 32 artigos, o uso da HdC para identificar concepções alternativas dos alunos em aulas de Física é uma possibilidade. Por

---

<sup>5</sup> Os artigos que mencionam "concepções alternativas" geralmente estão alinhados com a ideia de que são sinônimas dos chamados "modelos mentais," "ideias alternativas" ou "conceitos equivocados" sobre conceitos científicos, ou seja, conceitualizações do conteúdo científico que podem diferir da compreensão aceita academicamente, podendo persistir mesmo após um processo de ensino. Por exemplo, Velentzas e Halkia (2013) e Leone (2014) baseiam-se em concepções alternativas sobre tópicos de Física disponíveis na literatura para avaliar manifestações de estudantes.

outro lado, o artigo de Bächtold e Munier (2018), focado no ensino do conceito de energia, destacou que a abordagem de HdC reforçou concepções alternativas. Os autores afirmam, a respeito de uma atividade de leitura de texto histórico, que *"discutir as definições de força e energia com base em tal texto pode ter levado os alunos a reforçar a confusão entre as duas noções, em vez de entenderem a diferença entre elas"* (Bächtold e Munier, 2018).

Outra exceção à tendência positiva dos resultados relatados foi encontrada no artigo de Bøe *et al.* (2018), cujo objetivo de pesquisa era de dimensão Emocional. As perspectivas dos estudantes foram analisadas em relação à introdução de HdC em aulas de Física, visando avaliar o tipo de "aluno implícito" (Ulriksen, 2009) nessas atividades. O resultado obtido indicou que *"aspectos históricos e filosóficos foram geralmente descritos como interessantes ou motivadores, em vez de terem um efeito na aprendizagem"* (Bøe *et al.*, 2018). Um trecho marcante de um dos participantes da pesquisa expressou que a HdC *"não é muito importante, mas é 'ok' incluí-la"* nas aulas.

#### **2.2.6.2 Dimensão Filosófica/Epistêmica**

No que diz respeito à dimensão Filosófica/Epistêmica, 15 artigos (47%) relataram o desenvolvimento de aprendizagem sobre a natureza da ciência por meio de implementações baseadas em HdC. Por exemplo, o artigo de Stefanidou *et al.* (2020, p. 12) atribui a fonte de aprendizagem a experimentos históricos, afirmando que *"experimentos históricos, como o de Ptolomeu, podem lançar luz sobre a maneira de pensar do ser humano e sobre as formas pelas quais os conceitos científicos podem ser desenvolvidos tanto por teorias aceitas quanto abandonadas"*. De forma semelhante, o artigo de Chen *et al.* (2022, p. S85) especula que atividades de resumo de leituras promovem maior aprendizado do que a leitura isolada. Eles relatam que *"as análises indicam de forma abrangente que alunos do 7º ano melhoraram sua compreensão da NdC mais do que os alunos do 8º ano porque seus professores especificaram essa tarefa de leitura"*.

Dois artigos apontaram resultados negativos em relação à aprendizagem sobre a natureza da ciência. Em Bächtold e Munier (2018), é relatado que a estratégia usada para o ensino do conceito de energia não promoveu nada relacionado à NdC, e uma abordagem mais "explícita" seria necessária para esse

objetivo. O artigo de Alisir e Irez (2020) analisa os impactos de uma metodologia baseada na replicação de aparatos históricos na aprendizagem de NdC e nas suas atitudes em relação à ciência. O processo durou mais de 9 meses e consistiu em duas etapas principais: pesquisa sobre um aparato histórico a ser replicado e a construção do aparato escolhido. Semelhante a Bächtold e Munier (2018), uma abordagem “explícita”<sup>6</sup> não foi utilizada, e os autores não forneceram informações sobre quando ou como as características da NdC deveriam ser desenvolvidas ao longo da intervenção. No entanto, eles concluem que “*não foi encontrada diferença significativa entre os resultados [...] comparando a compreensão dos alunos sobre a NdC antes e depois da intervenção [...] a experiência de replicar aparatos científicos históricos não teve um impacto significativo na compreensão dos alunos sobre a NdC*” (Alisir e Irez, 2020, p. 1218).

Além disso, dois artigos destacaram novamente problemas relacionados a concepções alternativas, desta vez associados a aspectos da NdC. Por exemplo, o artigo de Hansson *et al.* (2019) conclui que uma abordagem de *storytelling* pode reforçar estereótipos, mas também problematizá-los. Segundo os autores, “*neste estudo, vimos exemplos de imagens estereotipadas do cientista sendo comunicadas [...] mas também casos em que essas imagens foram, pelo menos em parte, problematizadas.*”

### 2.2.6.3 Dimensão Emocional

Considerando a dimensão emocional, observa-se que 25% dos artigos destacam um aumento no interesse dos participantes pelas aulas de Física por meio da abordagem baseada em HdC. Além disso, o artigo de Alisir e Irez (2020) e o artigo de Jardim *et al.* (2021) apontam resultados positivos nas atitudes dos alunos em relação à ciência, embora os artigos de Bagdonas e Silva (2015) e Bevez e Dmytriienko (2020) relatem resultados negativos quanto ao uso de HdC nos aspectos emocionais. No caso de Bagdonas e Silva (2015), conclui-se que a abordagem HdC não conseguiu alterar as visões dos participantes sobre a relação

---

<sup>6</sup> Por “explícita,” Bächtold e Munier (2018) referem-se à abordagem “explícita e reflexiva” de Khishfe e AbdEl-Khalick (2002) para o ensino e a aprendizagem dos aspectos da Natureza da Ciência (NOS). A palavra enfatiza a noção de que as compreensões da NdC são resultados que devem ser intencionalmente visados e planejados da mesma forma que compreensões abstratas associadas a teorias científicas de alto nível, como a teoria da evolução e a teoria atômica (Khishfe & AbdEl-Khalick, 2002, p. 555).

entre ciência e religião. Consideramos esse resultado negativo, pois alguns participantes da pesquisa manifestaram ideias que indicam atitudes negativas em relação à ciência, não considerando qualquer relação ou impacto por parte dos aspectos religiosos. Por exemplo, alguns participantes disseram que “os professores não devem esperar que os alunos acreditem na ciência, mas que apenas a compreendam” ou que “os professores de ciência devem evitar enfatizar conflitos entre ciência e religião; eles devem discutir incompatibilidades apenas se surgirem nas discussões dos alunos” (Bagdonas e Silva, 2015, p. 1192).

Retomando o artigo de Bøe *et al.* (2018), os autores comparam as atitudes dos alunos em aulas “tradicionais” e em aulas baseadas na abordagem *ReleQuant*<sup>7</sup>, por meio do referencial teórico do “aluno implícito”<sup>8</sup> (Ulriksen, 2009), que inclui elementos como interesse e autoeficácia. As conclusões dos autores nos permitem apontar que o uso de HdC nem sempre é bem recebido pelos alunos, uma vez que expectativas implícitas de uma “aula tradicional de Física” podem estar em jogo. Embora o objetivo fosse apenas identificar, e não de estimular reações e atitudes dos alunos em aulas com HdC, conclui-se que tal abordagem “tem um aluno implícito que, em alguns aspectos, difere significativamente do aluno implícito pela cultura da sala de aula tradicional de Física” (Bøe *et al.*, 2018, p. 14). Curiosamente, os autores argumentam que isso não é necessariamente algo ruim, se forem desejadas mudanças nas práticas tradicionais. Porém, é imperativo fornecer apoio tanto aos alunos quanto aos professores para adotar com sucesso novos recursos de aprendizagem, incluindo os baseados em HdC, uma vez que eles tendem a ter dificuldades para lidar com suas próprias expectativas implícitas.

### 2.3 CONCLUSÕES

Neste Estudo 1, nossa aspiração foi identificar uma visão geral das investigações empíricas no campo do ensino de Física, com foco particular na utilização da HdC. É pertinente reiterar que nos baseamos na análise conduzida por Teixeira *et al.* (2012) ao estabelecer critérios de busca, seleção e exclusão de

<sup>7</sup> A abordagem *ReleQuant* é baseada em “recursos de aprendizagem online para Relatividade Geral e Física Quântica no Ensino Médio” (Bøe *et al.*, 2018, p. 3). Essa abordagem conta com uma variedade de características pedagógicas, incluindo elementos de HdC que foram aplicados no tópico de Física Quântica abordado no artigo de Bøe *et al.* (2018).

<sup>8</sup> O “aluno implícito” é um conceito que afirma que um estudo pressupõe práticas, atitudes, interpretações e comportamentos dos alunos, de acordo com a estrutura do estudo e as expectativas e relações do professor com os alunos (Ulriksen, 2009).

artigos. Portanto, recorreremos a três repositórios de trabalhos científicos (ERIC, SpringerLink e Wiley), um recurso que inevitavelmente leva à omissão de uma certa quantidade de pesquisas do campo. Além disso, a escolha deliberada de analisar exclusivamente artigos científicos revisados por pares, uma etapa crucial no processo de pesquisa científica, desconsidera uma parte de trabalhos que podem ser potencialmente significativos para a área, como dissertações, teses, anais de conferências e capítulos de livros. Entretanto, destacamos que a análise das pesquisas abrangidas nesta revisão responde às questões levantadas. Neste estudo, nossa intenção foi justapor os objetivos das pesquisas com as conclusões apresentadas, à luz das categorias reinterpretadas de Seroglou e Koumaras (2001). Paralelamente, buscamos entender como a HdC está sendo utilizada na pesquisa em ensino de Física, desvendando os quadros teóricos empregados para estruturar atividades didáticas e os recursos proeminentes nessas implementações. Além disso, examinamos os caminhos metodológicos dessas investigações. Vale ressaltar que investigações alternativas podem levar a análises divergentes dos mesmos artigos, introduzindo outras facetas pertinentes à investigação da perspectiva histórica no ensino de Física. Isso destaca a necessidade de novas revisões de literatura sobre o tema no domínio da pesquisa em educação científica.

A revisão da literatura dos 32 artigos de pesquisa empírica sobre o uso da história da ciência em aulas de Física possibilitou o mapeamento da situação dessa abordagem didática dentro do contexto da pesquisa em ensino de Física. Primeiramente, em termos de área de pesquisa, enfatizamos a baixa quantidade de pesquisas empíricas sobre o tema, uma característica também observada no trabalho de Teixeira *et al.* (2012). Considerando os 190 estudos que focam no uso da HdC no ensino de ciências, os 32 artigos selecionados representam apenas 17% do total. Mesmo excluindo os 89 artigos que não abordaram Física, os estudos finais ainda correspondem apenas cerca de um terço da amostra. Embora tenha ocorrido um crescimento relativo em comparação com a revisão de Teixeira *et al.* (2012), na qual a amostra inicial de 152 artigos foi reduzida a 11 estudos de pesquisa empírica, esses números nos levam a concluir que a área de pesquisa sobre a história da ciência no ensino de Física atualmente é, para dizer o mínimo, predominantemente não-empírica.

Quais poderiam ser as origens dessa assimetria entre estudos teóricos e empíricos? Uma explicação possível é a “distância” entre o domínio da história da

Física e a área de ensino de Física. A contagem final de artigos derivada de nossa revisão serve como uma manifestação dessa preocupação. Essa distância já foi destacada na literatura e envolve elementos controversos. Por exemplo, a perspectiva “kuhniana” sugere que a HdC pode enfraquecer certas convicções científicas integrais à compreensão do conhecimento científico (Matthews, 1992). Também se pode argumentar que a área da Física, de maneira geral, não é tão próxima da pesquisa empírica em ensino, devido a questões que compreendem, entre muitos aspectos, um *status* mais elevado para o teórico e um prestígio mais baixo para as atividades sujeitas a flutuações humanas.

Por outro lado, também se poderia atribuir esse fenômeno ao desafio inerente à condução de pesquisas empíricas, dada a complexidade de mensurar os impactos das metodologias de ensino na aprendizagem. A pesquisa em educação, de maneira geral, carece de consenso sobre metodologias para investigar a aprendizagem dos alunos, apesar da miríade de quadros teóricos. A profundidade da fundamentação nas conclusões apresentadas, examinadas na Seção 2.2.6, é indicativa desse dilema, que dificulta a implementação sistemática de unidades instrucionais baseadas em HdC.

Nesse sentido, uma possível direção para pesquisas futuras na área poderia ser a articulação de mais estudos empíricos, que possam indicar como a HdC contribui para os processos de ensino e aprendizagem, assim como identificar limitações práticas e considerações metodológicas que possam transcender a uma discussão predominantemente teórica.

Na mesma linha, concluímos que uma oportunidade de avanço na pesquisa pode envolver a combinação de métodos quantitativos com pesquisas qualitativas. Vale ressaltar que, entre os 32 artigos analisados, apenas um teve uma abordagem puramente quantitativa (Oh e Lederman, 2018), enquanto apenas três adotaram métodos mistos (Levrini *et al.*, 2014; Rutt e Mumba, 2019; Chen *et al.*, 2022). A presença de novos artigos utilizando procedimentos quantitativos pode contribuir para uma compreensão mais ampla do tema, trazendo novos *insights* e promovendo um diálogo entre investigações em larga escala e estudos qualitativos menores.

No que diz respeito ao ensino e à aprendizagem, consideramos que esta revisão destacou tanto aspectos positivos quanto negativos do uso da HdC. Os resultados da pesquisa, de maneira geral, corroboram o uso da história da ciência a partir de uma perspectiva “contextualista” (Matthews, 1992) que (1) motiva e envolve

os alunos, (2) humaniza e desperta interesse pelo tema, (3) aprimora a compreensão de conceitos científicos e (4) demonstra a instabilidade e a mutabilidade da ciência (Matthews, 1995, p. 172). Segundo esse autor, se consideram as dimensões éticas, sociais, históricas, filosóficas e tecnológicas da ciência, visando ao ensino tanto “na” quanto “sobre” a ciência (Matthews, 1992). Embora não possamos afirmar que todos os 32 estudos adotaram a HdC nesse viés contextualista, acreditamos que a distribuição relativamente equilibrada entre objetivos Conceituais, Emocionais e Filosóficos/Epistêmicos revela uma tendência para essa abordagem. Por outro lado, reconhecemos as evidências que apontam questões no contexto do uso da HdC no ensino de Física: a falta de consenso sobre por que a aprendizagem conceitual ocorre por meio dessa abordagem, bem como a falta de estudos sobre a aprendizagem procedimental.

Outra conclusão da revisão da literatura é o aparente consenso quanto ao uso da HdC para ensinar aspectos da natureza da ciência. Entre os 17 estudos que apresentaram conclusões relacionadas à dimensão Filosófico/Epistêmica, 15 relataram avanços na compreensão da NdC. No entanto, deve-se notar que não há clareza, muito menos concordância, na literatura sobre a definição de NdC e quais fatores devem ser priorizados nas abordagens didáticas.

Nesse sentido, parece haver um consenso sobre a promoção da aprendizagem conceitual por meio do uso da HdC nas aulas de Física, uma vez que 18 dos 21 artigos relataram resultados positivos para essa dimensão de aprendizagem. Contudo, é importante ressaltar que, com base na revisão desses estudos, não há clareza sobre os motivos que levam à ocorrência da aprendizagem conceitual. Considerando a heterogeneidade das abordagens de ensino identificadas na Seção 2.2.5, não é possível discutir quais metodologias são mais eficazes para a aprendizagem de conceitos científicos. A revisão sistemática de Teixeira *et al.* (2012, p. 793) também aborda essa questão, enfatizando que os resultados relatados “indicam uma falta de concordância sobre a ocorrência de mudança conceitual.” Além disso, há evidências que sugerem que a abordagem histórica pode apresentar obstáculos à aprendizagem de conceitos, embora tais indicações estejam dispersas na literatura. Por exemplo, o artigo de Bächtold e Munier (2018), discutido na Seção 2.2.6, relata que a abordagem histórica levou à confusão, reforçando equívocos sobre conceitos científicos. No caso do artigo, um texto histórico usado para discutir as diferenças entre os conceitos de força e

energia reforçou alguns equívocos dos alunos sobre as relações entre esses dois conceitos.

Argumentamos que essa falta de clareza em relação às causas da aprendizagem conceitual pode ser um sintoma do descompasso entre os objetivos iniciais das pesquisas empíricas e os resultados relatados, como observado na Seção 2.2.6 ao comparar as Tabelas 2.1 e 2.2. Considerando que o número de artigos com conclusões relacionadas à dimensão conceitual ( $n=21$ ) superou significativamente o número de artigos com objetivos conceituais ( $n=10$ ), ao contrário das outras dimensões propostas por Seroglou e Koumaras (2001) utilizadas aqui, podemos inferir que a aprendizagem de conceitos tem sido observada como um efeito latente do uso da HdC nas aulas de Física. Também se pode argumentar que as afirmações sobre a ocorrência de aprendizagem conceitual estão sujeitas aos processos de avaliação utilizados para reivindicá-las, levantando questões sobre se os professores estão examinando o desenvolvimento de conceitos científicos por meio de mecanismos que envolvem aspectos da HdC. Por exemplo, um exame convencional, que não leva em conta as características da HdC, pode identificar a aprendizagem conceitual, mas como se pode afirmar, por meio desse instrumento, que a HdC teve um impacto sobre isso?

Em contraste, a investigação de Welch (1973) sobre as implementações curriculares do Harvard Project Physics (HPP) indica que a abordagem histórica implementada neste projeto não produziu resultados significativos em termos de aprendizagem conceitual. No entanto, é importante considerar que o campo da educação em ciências fez grandes avanços em termos de métodos de ensino explorados em sala de aula, assim como uma redefinição dos procedimentos de pesquisa. Portanto, tanto os resultados das pesquisas investigadas nesta revisão da literatura quanto aqueles relacionados ao HPP devem ser analisados com cautela. As diferenças entre esses resultados podem estar relacionadas a uma insuficiência da abordagem da HdC para promover a aprendizagem conceitual de forma isolada, com bons resultados sendo alcançados apenas quando a HdC é combinada com métodos de ensino contemporâneos.

Essa discussão sugere que mais pesquisas são necessárias sobre o uso da HdC no ensino de Física, especialmente com um foco específico na promoção da aprendizagem conceitual. Uma possibilidade é investigar quais métodos de ensino baseados em uma abordagem histórica favorecem a aprendizagem conceitual,

assim como identificar os momentos mais adequados para incorporar essas metodologias no processo pedagógico. Esse esforço pode expandir nosso conhecimento sobre o potencial e as limitações da HdC no ensino de Física e, possivelmente, na educação em ciências como um todo.

Outra possibilidade se alinha a noção geral, que foi reforçada nesse estudo, de que a História da Ciência contribui para “atribuir sentido” ao conhecimento. Somado às discussões da Seção 2.2.6, por exemplo, o artigo de Henke (2014, p.378), indica que a HdC atinge a problemática “do auxílio aos estudantes em atribuir sentido no conhecimento científico do passado” e na “construção de caminhos conceituais adequados da história até ideias modernas”. Não obstante, Schvartzer (2020, p. 178) argumenta que uma abordagem histórica “pragmática”<sup>9</sup>, permitiu que estudantes atribuíssem sentido (“*make sense of*”) das atividades laboratoriais de um cientista, no caso, Galileu Galilei. Entretanto, é evidente que essa noção de “atribuir sentido”, ou do próprio “sentido”, é polissêmica. A título de exemplo, ao passo que em Dibattista e Morgese (2013) o “sentido” é associado a um nível metacognitivo, em Stein *et al.* (2015) o “sentido” se alinha à mudança conceitual.

Outro resultado marcante foi a escassez de objetivos procedimentais entre os estudos empíricos analisados. Na revisão de Segolou e Koumaras (2001), a dimensão prática havia sido anteriormente descartada, pois, segundo os autores, “*propostas para o uso da história da Física nesta área da educação em Física não foram relatadas*”. Em nossa revisão, embora não tenhamos excluído esse objetivo de pesquisa, também não identificamos artigos com tais intenções, mesmo com a presença de oito artigos descrevendo implementações didáticas envolvendo atividades experimentais. Por exemplo, o trabalho de Fouad *et al.* (2015) propõe a execução de um experimento baseado na “coroa de Arquimedes”, e um dos objetivos didáticos da atividade era “*calcular o volume de objetos medindo a diferença no nível da água quando o objeto é colocado em um dispositivo de medição*”. No artigo de de Hosson e Décamp (2014), uma das atividades didáticas é baseada em um experimento de óptica do cientista Wan Fan, para discutir aspectos da astronomia chinesa e grega, bem como modelagem científica.

---

<sup>9</sup> O termo “pragmática”, nesse contexto, se refere as simplificações realizadas em narrativas históricas, por parte dos autores, para atingir um objetivo didático. Segundo esses autores, fornecendo mais detalhes históricos sobre o tópico teria distraído os estudantes do principal objetivo da atividade (Schvarter *et al.*, 2020, p. 378).

No entanto, mesmo com a presença de atividades experimentais entre as implementações, objetivos procedimentais, resultados e conclusões não foram relatados. Interpretamos isso como uma evidência de uma conexão fraca entre a HdC e a aprendizagem procedimental no atual panorama da pesquisa em ensino de Física. Isso pode ser resultado de um desinteresse mútuo sobre o tema entre essas áreas quando dialogam, ou por ser uma proposta ainda recente e mais imatura em contraste com características conceituais ou epistêmicas. Uma evidência do último é que experimentos históricos foram, de fato, articulados em alguns dos artigos revisados, mas ainda com a intenção de investigar os impactos da HdC na aprendizagem conceitual, epistêmica e/ou emocional, em vez da aprendizagem procedimental. Estudos como os de Stefanidou *et al.* (2020) e Alisir e Irez (2020), descritos em seções anteriores deste artigo, são exemplos de intervenções que poderiam ter como objetivo a aprendizagem procedimental sem implicações na aprendizagem das outras dimensões. Fora do escopo da revisão, por exemplo, Roberti *et al.* (2022) buscam replicar os experimentos de óptica de Maxwell sobre diagramas de cores e contrastá-los com padrões estabelecidos posteriormente sobre o assunto, concluindo que essa abordagem poderia ser um projeto de um semestre para óptica avançada.

Portanto, não podemos afirmar que a conexão não existe, uma vez que há trabalhos na literatura que buscam lidar com características procedimentais enquanto articulam elementos da HdC. No entanto, parece que essa relação ainda não está num nível consolidado. Entendemos que essa conexão entre a HdC e os objetivos procedimentais é possível, dada a articulação encontrada em oito dos 32 artigos, e sugerimos investir em pesquisas para abordar essa lacuna significativa no campo. É, de certa forma, instigante, por exemplo, a considerável quantidade de experimentos históricos e notas de laboratório de cientistas que poderiam ser estudados em sala de aula de Física. Poderia se delinear o ensino sobre habilidades procedimentais, como medir e estimar erros, por exemplo. Ainda assim, essa possibilidade não foi identificada em nossa revisão como um objetivo de pesquisa.

Finalmente, como enfatizamos na introdução deste artigo, o campo da educação em ciências está passando por transformações, e temas emergentes que se conectam com o contexto sociocientífico contemporâneo, como pesquisas sobre justiça social, pós-verdade, decolonialidade e questões de gênero, demandam esforços especiais da pesquisa educacional para abordar essas preocupações.

Nenhum desses temas ou preocupações foi discutido na pesquisa empírica sobre a história da ciência no ensino de Física. Por outro lado, sugerimos possibilidades para o uso da HdC no ensino de Física para discutir esses assuntos, como episódios históricos que enfatizam problemáticas políticas, epistêmicas e socioculturais das atividades e instituições científicas atuais. Dentre esses temas, a pós-verdade é o que apresenta menos conexões com a HdC no ensino de Física. Nesse sentido, nossa última sugestão como uma possível via para o avanço da pesquisa no campo da HdC é direcionar esforços para investigações sobre esses temas.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO: O SENTIDO E A AGÊNCIA HUMANA

São comuns na prática de professores de Física casos em que estudantes demonstram habilidade para resolver problemas, inclusive com alta aptidão, mas não conseguem compreender por que e para que os conhecimentos são mobilizados, ou mesmo porque existem. Esses estudantes não constroem uma razão de ser para os conceitos, tendo dificuldades para conectá-los em uma rede conceitual ampla. Nessa dissertação, consideramos que “por quê?” e “para quê?” são as perguntas que precisam ser feitas e respondidas para que alguém atribua sentido ao conhecimento.

Essa dimensão da aprendizagem é significativamente menos explorada na literatura do que, por exemplo, a aprendizagem conceitual para a resolução de problemas (Ince, 2018) ou o papel da compreensão matemática no ensino e aprendizagem da Física (Kim, 2018). Ainda que abordem temas importantes para o enfrentamento de problemas da Física, as pesquisas da área costumam negligenciar um elemento inerente à experiência humana: a busca por sentido para as situações vivenciadas e para o conhecimento.

Em particular, os apontamentos de que a HdC contribui para “atribuir sentido” ao conhecimento instigam uma análise mais profunda desse processo. Nas seções a seguir, apresentaremos uma definição da noção de “sentido” enquanto dimensão da aprendizagem conceitual e descreveremos o processo de atribuir sentido como um ato de agência humana, na perspectiva da Teoria Social Cognitiva.

#### 3.1 O SENTIDO COMO DIMENSÃO CONOTATIVA

A palavra “sentido” é polissêmica. Frequentemente dizemos frases como “isso não faz sentido!” ou “em que sentido?”. Também é comum considerarmos os termos sentido e significado como sinônimos: “Qual o significado disso?” é, muitas vezes, equivalente a perguntar “Qual o sentido disso?”. Tais questionamentos, de modo geral, estão alinhados às respostas para o “por que” e “para que” de algo; uma razão de ser para um objeto, palavra, experiência ou argumento. Na literatura científica, o

conceito de sentido é interpretado diferentemente por autores diversos. Em particular, nas áreas de pedagogia e psicologia, intensos esforços são dirigidos não só para esclarecer a noção de sentido, como para diferenciá-la da noção de significado (Ashbar, 2014).

Na obra “A construção do pensamento e da linguagem”, por exemplo, Vigotski argumenta que o significado é algo exato e estável, enquanto o sentido é variável e instável. Nas palavras do autor:

[...] o sentido é sempre uma formação dinâmica, fluida, complexa, que tem várias zonas de estabilidade variada. O significado é apenas uma dessas zonas do sentido que a palavra adquire no contexto de algum discurso e, ademais, uma zona mais estável, uniforme e exata. Como se sabe, em contextos diferentes, a palavra muda facilmente de sentido. O significado, ao contrário, é um ponto imóvel e imutável que permanece estável em todas as mudanças de sentido da palavra em diferentes contextos (Vigotski, 2001, p. 465).

Como se pode observar, Vigotski (1896-1934) restringe o significado à uma “zona do sentido”. Essa zona seria bem delineada, dentro de um discurso, e transversal a contextos subjacentes. Com isso, o autor sugere que o sentido é algo mais amplo e complexo; é “a soma de todos os fatos psicológicos que a palavra desperta na consciência” (Vigotski, 2001, p. 465).

De modo similar, o psicólogo Alexei Leontiev (1903-1979) propõe que o significado “é a generalização da realidade cristalizada e fixada num vetor sensível” (1978 *apud* Ashbar, 2014). Por outro lado, compreende o sentido como a conexão entre a finalidade da ação de um indivíduo com o motivo dessa ação (Ashbar, 2014). O psicólogo exemplifica essa relação do seguinte modo:

Imaginemos um aluno lendo uma obra científica que lhe foi recomendada. Eis um processo consciente que visa um objetivo preciso. O seu fim consciente é assimilar o conteúdo da obra. Mas qual é o sentido particular que toma para o aluno este fim e por consequência a ação que lhe corresponde? Isso depende do motivo que estimula a atividade realizada na ação da leitura. Se o motivo consiste em preparar o leitor para sua futura profissão, a leitura terá um sentido. Se, em contrapartida, se trata para o leitor de passar nos exames, que não passam de uma simples formalidade, o sentido de sua leitura será outro, ele lerá a obra com outros olhos; assimilá-la-á de maneira diferente (1978, p. 93 *apud* Ashbar, 2014).

Desse modo, enquanto o significado é algo estável, o sentido é subjacente às experiências e objetivos pessoais. Ashbar (2014) explica as concepções de Leontiev por meio de um exemplo do psicólogo sobre a morte:

Uma pessoa pode compreender perfeitamente seu significado, conhecer sua natureza biológica, ter estudado aspectos filosóficos e religiosos desse fenômeno e compreender racionalmente sua inevitabilidade, mas no plano

pessoal a morte pode não ter um sentido e aparecer como coisa distante, improvável, principalmente se o sujeito for jovem e saudável. Anos depois, para o mesmo sujeito, a morte tem outro sentido, formou-se nele uma nova consciência acerca disso. Possivelmente não terá havido alteração no sistema de significações acerca da morte e o que terá variado será seu sentido. (Ashbar, p. 268, 2014).

Considerando essas perspectivas, o significado se alinha a uma dimensão denotativa, isto é, às relações diretas, explícitas e literais entre palavra e objeto (Abbagano, 2007). São conceituações rígidas que o caracterizam dentro de um contexto. Por exemplo, a palavra “pressão”, no contexto da Física, pode ter um significado de “razão entre uma força e a área de aplicação”, o que é transversal a qualquer situação da Física. Em contraste, o sentido pode ser caracterizado como uma dimensão conotativa (Abbagano, 2007), subjetiva e mutável da consciência. O conceito de pressão pode ser encarado como “pouco importante, somente útil para resolver exercícios” por uma pessoa que a estudou ocasionalmente para ter bons resultados em uma prova. Entretanto, a “pressão” pode atingir um sentido de “conceito central e indispensável” caso, por exemplo, esse estudante se torne um pesquisador em mecânica de fluidos.

O estudo de Franco *et al.* (2024) definiu o sentido como uma dimensão conotativa. Em concordância com as noções anteriores, esses autores propõem que o sentido transcende o significado e contempla aspectos subjetivos e julgamentos de valores. Se trata de um posicionamento individual impactado por fatores pessoais e socioculturais. No trabalho desses autores, foram investigados, sob essa perspectiva, os sentidos atribuídos a experiência de reprovação em um curso de graduação em Física. Quatro diferentes sentidos foram identificados, os quais se distinguiram entre conotações positivas ou negativas, bem como atrelados a fatores internos ou externos. Por exemplo, o sentido “incapacidade individual intrínseca” caracterizou negativamente a experiência de reprovação. Mais que isso, associou a reprovação a uma incapacidade interna do indivíduo, sem possibilidade de remediação. Em contraste, o sentido de “conformidade com a injustiça do sistema educacional” também atrela sentimentos negativos à experiência, mas responsabiliza o sistema educacional pelo fracasso, ou seja, um elemento externo.

Os autores apontam que esses sentidos impactam diferentemente nas decisões dos alunos (Franco *et al.*, 2024). Ao passo que os sentidos “frustração a ser ultrapassada” e “dificuldade a ser superada” estiveram estatisticamente correlacionados com maior intenção de persistência, os sentidos citados

anteriormente estiveram estatisticamente correlacionados com menor intenção de persistência. Nessa perspectiva, compreender o sentido atribuído a uma experiência permitiu projetar intenções de comportamento.

A pesquisa de Franco *et al.* (2024) considerou a atribuição de sentido à uma experiência como um processo autorregulatório. Esse mecanismo cognitivo, subjacente à agência humana, segundo a Teoria Social Cognitiva de Bandura (2008), é interno ao sujeito e corresponde a uma tentativa de reorganização do pensamento perante uma situação. É um processo complexo no qual uma pessoa avalia e reage a novas informações, com base em valores pessoais e experiências prévias, para atingir o objetivo de assimilar a situação. Na presente dissertação de mestrado, adotamos a perspectiva de Franco *et al.* (2024), a saber, do sentido enquanto dimensão conotativa. Entretanto, ao transpormos essa definição de sentido também para os conceitos, cabe se perguntar de que modo esse processo ocorre e de que modo ele impacta o comportamento dos sujeitos durante o aprendizado.

### 3.2 A ATRIBUIÇÃO DE SENTIDO: *SENSEMAKING*

O processo de atribuir sentido é frequentemente denominado de *sensemaking*. No ensino de ciências, entretanto, também há uma polissemia de entendimentos sobre como ele pode ser delineado. Odden *et al.* (2019) elencam pelo menos cinco definições que incluem, por exemplo, processos como “explicar um fenômeno coordenando teoria e evidência” e “buscar um entendimento profundo que integra formalismo, conceitos e pensamento intuitivo”. Por sua vez, os autores definem o *sensemaking* como um processo de “*figuring out*” (descobrir porque). Segundo eles:

[...] *sensemaking* é um processo dinâmico de construção ou revisão de uma explicação com o objetivo de “compreender algo” — para entender o mecanismo subjacente a um fenômeno e resolver uma lacuna ou inconsistência na compreensão. Essa explicação é elaborada a partir de uma combinação de conhecimento cotidiano e conhecimento formal, por meio da proposição e conexão iterativa de diferentes ideias sobre o assunto. Simultaneamente, verifica-se se essas conexões e ideias são coerentes entre si e com outras ideias presentes no sistema de conhecimento da pessoa.

Nessa perspectiva, o *sensemaking* é um processo associado à mudança conceitual (Krajcik e Shin, 2023), promovida na medida em que uma pessoa

reorganiza sua estrutura cognitiva, a partir de uma situação nova, para sanar inconsistências no seu conhecimento. Para esses autores, o *sensemaking* ocorre em contextos de resolução de problemas ou conflitos conceituais. Por exemplo, quando estudantes tentam explicar porque um copo de água quente que resfria exposto ao ambiente pode atingir uma temperatura levemente menor que a temperatura circundante após um tempo suficientemente longo, o que é contraintuitivo, estão passando por um processo de *sensemaking*.

Os autores pontuam que esse mecanismo apresenta três facetas: a de um posicionamento, a de um processo cognitivo e a de uma prática discursiva (Odden *et al.*, 2019, p. 197). É um posicionamento na medida em que contempla atitudes e raciocínios prévios e particulares; é um processo cognitivo na medida em que ocorre internamente, por meio da adaptação ou integração de conhecimentos; por fim, é uma prática discursiva na medida em que é observável por meio de manifestações verbais.

Considerando o sentido como uma dimensão conotativa (Franco *et al.*, 2024), essa perspectiva de *sensemaking* pode ser ampliada para os sentidos atribuídos à conceitos. Associando a atividade de “*figuring out*” com a criação de respostas ao “por que” e “para que” um conceito existe, o sentido de um conceito contempla um posicionamento pessoal em relação a ele. Um estudante poderá pensar, por exemplo, que “o conceito serve para...”, ou que “o conceito é fundamental porque...”, ou que “o conceito é muito abstrato e, por isso...”, etc. Nessa linha, é um processo cognitivo de mudança conceitual, uma vez que a pessoa constrói e atualiza sua rede conceitual. Ao considerar o processo de evaporação, no caso do copo d’água, possivelmente ocorrerá no sujeito uma ampliação do seu esquema conceitual sobre processos de transferência de energia na forma de calor. Por fim, é uma prática discursiva na medida em que o sujeito pode expor o sentido que atribui ao conceito, seja explicitamente em um diálogo, ou implicitamente em uma atividade objetiva.

Nessa proposta, o exemplo do copo de água quente pode promover sentidos distintos. Uma estudante poderá ampliar seu conhecimento sobre processos de transferência de energia e considerar, por exemplo, que “os processos de transferência de energia são simples e essenciais para compreender fenômenos térmicos reais”. Em contraste, outra pessoa poderia encontrar dificuldades para assimilar esses conhecimentos e, com isso, atribuir uma conotação do tipo “os processos de transferência de energia são muito complexos e servem apenas para

descrever fenômenos térmicos idealizados”. Esses diferentes processos de *sensemaking* estão subjacentes a uma necessidade de dar consistência a uma rede conceitual prévia que pode conter conceitos como equilíbrio térmico, energia cinética, temperatura, etc.

Com base nisso, esse processo ocorre na medida em que os estudantes dirigem esforços para aprender. Em outras palavras, se trata de um ato intencional da aprendizagem, ou, na perspectiva da Teoria Social Cognitiva de Bandura (2008), uma agência humana. Para esse autor, “*os objetivos, baseados em um sistema de valores e em um sentido de identidade pessoal, conferem significado e propósito às atividades*” (Bandura, 2008, p.76). Portanto, atribuir um propósito, um “por que” e “para que”, um sentido para um conceito, é subjacente ao objetivo de aprender ou assimilar uma situação. Baseados nessa perspectiva, nas seções a seguir, descreveremos como o *sensemaking* pode ser compreendido na lente da Teoria Social Cognitiva de Bandura, em particular, sob a noção de agência humana.

Um elemento relevante sobre o conceito de sentido, enquanto dimensão conotativa, é se ele resulta de um processo de atribuição ou de uma construção/elaboração. Ao passo que uma “atribuição” se refere ao ato de designar uma qualidade, característica ou propriedade a um objeto, uma “construção” se refere ao processo de elaborar, formar ou conceber. Entendemos que tais processos não são excludentes no âmbito do sentido dos conceitos: o sentido pode ser encarado como uma construção individual, resultante da mobilização do conceito no enfrentamento de situações, ao passo em que pode ser manifestado na designação de conotações, qualidades e valores, ou seja, numa atribuição. Entretanto, consideramos a designação imperativa nesse processo: independentemente do tipo e do grau de complexidade do julgamento de valor associado ao sentido, ele será designado ao respectivo conceito. Em outras palavras, entendemos que não é possível não haver um sentido para determinado conceito se ele foi mobilizado por um indivíduo em uma situação. Naturalmente, essa designação inicial - caracterizando uma espécie de atribuição de um “sentido inicial” - pode ser reciclada, atualizada ou modificada conforme as situações experienciadas pelo indivíduo nas quais há mobilização do conceito, conferindo uma “construção” ou “desenvolvimento” do sentido. Na presente dissertação, utilizamos a palavra “atribuição” em decorrência da ideia de que a designação é imperativa, ao passo que a construção, passiva.

### 3.3 A ATRIBUIÇÃO DE SENTIDO: AGÊNCIA HUMANA

Existem diversas abordagens teóricas da área da Psicologia sobre o comportamento e a aprendizagem. Historicamente, teorias primárias buscaram explicar o comportamento humano por meio de relações causais unidirecionais entre fatores ambientais e pessoais (Bandura, 2008). O behaviorismo, por exemplo, defendia que o comportamento era moldado exclusivamente por influências externas, num sistema baseado em estímulos de reforço positivo e negativo. Com o advento de teorias construtivistas, inicia-se um processo de ênfase da importância dos processos cognitivos internos nas relações entre sujeito e ambiente. Teorias socioconstrutivistas ressaltaram, ainda, aspectos das relações sociais no comportamento individual, abrindo espaço para teorias bidirecionais onde é reconhecida a interdependência entre fatores comportamentais, cognitivos e sociais.

Uma das teorias bidirecionais que busca romper com a perspectiva causal é a Teoria Social Cognitiva (TSC) de Bandura (2008). Nessa teoria, aportam-se modelos de reciprocidade triádica ou de determinismo recíproco, assumindo que ações humanas resultam da interação entre comportamentos (atos individuais), fatores pessoais (crenças, conhecimentos, valores, etc.) e aspectos ambientais (condições externas). A TSC foi inicialmente proposta a partir da década de 1950. Seu principal autor, Albert Bandura (1925-2021), dedicou seus estudos à aprendizagem humana, adotando como princípio a perspectiva ação humana para o desenvolvimento, adaptação e mudança (Franco *et al.*, 2024). Em particular, a TSC propõe uma capacidade inerente de *agência humana*. Essa agência corresponde a ações e comportamentos humanos com intenção, ou seja, aquilo que pessoas fazem com algum objetivo em mente. O construto da agência humana tem sido aplicado em diversas áreas de pesquisa científica. No âmbito educacional, foi utilizado, por exemplo, em estudos sobre motivação, desempenho acadêmico, autorregulação da aprendizagem, evasão e persistência (Franco *et al.*, 2024). Por outro lado, pesquisas já articularam esse construto nas áreas da saúde, psicologia organizacional, publicidade, entre outros (Bandura *et al.*, 2008).

De acordo com Bandura *et al.* (2008), nos tornamos agentes na medida em que ativamente codificamos experiências, utilizando-as para adaptar e produzir novas ações em circunstâncias específicas. Dessa forma, agentes se comportam com intencionalidades, monitorando, regulando e refletindo sobre seu próprio

funcionamento. Sob essa visão, a atribuição de sentido pode ser entendida como uma atividade de agência humana marcada pela tentativa de um sujeito em assimilar cognitivamente uma situação nova, com o objetivo de aprendê-la. Nesse processo, ele pode construir um “por que” e “para que” da mobilização de um determinado conceito naquela situação, ou da experiência em si. Com isso, atribui sentidos aos conceitos mobilizados.

A agência humana engloba quatro processos interrelacionados, a saber: intencionalidade, antecipação, autorregulação e autorreflexão. Esses processos representam os elementos da cognição, que, como dito, se relaciona triadicamente com o comportamento e o ambiente. Em outras palavras, segundo a TSC, o comportamento não é estritamente determinado pelo ambiente, mas é mutuamente impactado pela cognição e o ambiente, e vice-versa. Por exemplo, uma sala de aula tradicional (ambiente) pode gerar pouco interesse ou aprendizado nos estudantes (cognição) e culminar em evasão (comportamento). Por outro lado, alguns estudantes engajados em questionamentos (comportamento) – sejam conceituais, práticos ou epistêmicos – podem estimular a reflexão dos colegas (cognição) e alterar a dinâmica das aulas (ambiente). A seguir, descrevemos cada um dos processos da agência humana.

### **3.3.1 Intencionalidades e antecipações**

Uma pessoa que quebra um copo sobre uma mesa ao ser empurrada não seria considerada o agente do evento na perspectiva da TSC. A agência humana envolve intencionalidade, ou seja, motivações pessoais, culturais ou situacionais. São agentes, por exemplo, uma pessoa que se matricula em disciplinas sobre Cálculo Diferencial, durante semestres, porque tem a intenção de se graduar em Física, ou que concorre a bolsas de iniciação científica porque almeja ser um pesquisador em Física. A intencionalidade é, portanto, uma representação de um curso de ação futuro (Bandura, 2008), transpassando as expectativas e se tornando um compromisso proativo com a sua realização. Com isso, a seletividade é um fator impactante nas ações e pensamentos de um sujeito, uma vez que, devido às suas intencionalidades, o sujeito seletivamente priorizará certos aspectos, tornando mais prováveis algumas ações em detrimento de outras.

Por exemplo, uma estudante com o objetivo de ser aprovada em uma universidade específica pode priorizar um aprendizado mais profundo dos tópicos que irão compor o exame daquela instituição. Assim, caso sejam proeminentes conteúdos de ciências exatas, ela dedicará mais atenção e reflexão a eles, ao passo que limitará seus esforços em outros assuntos. Essa seletividade, proveniente de uma intencionalidade, não necessariamente é explicitada, mas pode permanecer velada e seu impacto ser interno. Por exemplo, um estudante de Física que almeja dominar o máximo de explicações sobre fenômenos do cotidiano pode priorizar o entendimento de conteúdos da Física Clássica e, com isso, apresentar dificuldade de engajamento em tópicos de Física Moderna. No sentido oposto, um pesquisador em Mecânica Quântica pode ser seletivo ao ressaltar apenas a relevância dos conceitos dessa área, e considerar, internamente, que tópicos da Física Clássica são “ultrapassados” ou “obsoletos”.

Além das intenções, os indivíduos também realizam antecipações ou o “pensamento antecipatório” (Bandura *et al.*, 2008). De acordo com Bandura, os futuros imaginados servem como guias e motivadores atuais do comportamento. Nesse sentido, a antecipação se refere à capacidade de um indivíduo de prever resultados e consequências de suas ações, direcionando seu comportamento presente (Franco *et al.*, 2024). O pensamento antecipatório recorre à experiência prévia do sujeito, na relação entre eventos em que observou o resultado de suas ações ou de outros indivíduos (Bandura, 1986). Um aluno que teve um mal resultado em uma prova porque não se preparou adequadamente pode antecipar que o mesmo ocorrerá numa próxima prova se ele não se preparar. Com isso, pode alterar seus hábitos de estudo com base nessa expectativa de resultado.

Entretanto, não são somente resultados externos que impactam nas antecipações. Padrões pessoais e julgamentos de valor individuais ou culturais, associados às intencionalidades do sujeito, também podem auxiliar na projeção de expectativas desejáveis de resultados. No caso dos conceitos da Física, por exemplo, pode-se dispor da expectativa de aprender um conteúdo para que ele seja um recurso para a construção de explicações para eventos do cotidiano. Em contraste, é possível que o estudante tenha a expectativa de usar um conceito/teoria apenas para a aprovação em exames ou avaliações didáticas.

Esses aspectos de intencionalidade e antecipação podem influenciar e serem influenciados, por exemplo, pela modelação do indivíduo. Na TSC, a modelação se

refere ao processo pelo qual os indivíduos aprendem comportamentos/habilidades observando e imitando indivíduos “modelos”. Para Bandura (2008, p.18), as representações cognitivas modeladas são como guias para a produção de desempenhos hábeis. Ao observar as ações de modelos — como perfis de professores, colegas ou especialistas na área de Física — e as consequências dessas ações desses modelos, os indivíduos podem antecipar possíveis resultados de suas próprias ações, ajustando suas estratégias em conformidade. Esse processo, aliado à intencionalidade pessoal, fortalece a capacidade do sujeito de se engajar de maneira mais eficaz em seus próprios cursos de ação, já que ele pode observar e aprender comportamentos que julga serem mais adequados ou que refletem as consequências antecipadas desejáveis. Assim, a modelação não apenas reforça/atualiza os objetivos individuais, mas também ajuda a calibrar as expectativas do sujeito, alinhando suas intenções com as práticas observadas em seu ambiente social e acadêmico.

Em suma, na perspectiva da Teoria Social Cognitiva, as intenções moldam a seletividade dos indivíduos, que priorizam certos aspectos ou atividades com base em seus objetivos, o que, por sua vez, influencia seu comportamento futuro. A antecipação, então, permite que o sujeito projete possíveis consequências, ajustando suas ações conforme suas expectativas. Nesse processo, a modelação pode atuar como um guia, ao fornecer exemplos que ajudam a refinar a percepção sobre o que é mais ideal na realização das intenções e na consecução das metas desejadas.

### **3.3.2 Autorregulação e autorreflexão**

De acordo com a TSC, o exercício da agência ocorre por meio de capacidades autorreguladoras (Bandura, 2008). Com base nas antecipações, os sujeitos regulam seu próprio comportamento visando as expectativas de resultado que anseiam. Em outras palavras, realizam a autorregulação. Nesse processo cognitivo, os indivíduos avaliam e julgam os novos conhecimentos e/ou experiências, reagindo e refletindo perante elas. Mesmo em situações similares, cada indivíduo reage de modo diferente, dependendo de padrões pessoais, isto é, da maneira como a pessoa julga e avalia a si mesmo perante uma situação, levando em conta suas intencionalidades e antecipações.

O mecanismo autorregulatório opera por meio de três subfunções interrelacionadas (Bandura, 1991; 2008). Essas subfunções exigem a ativação cognitiva do sujeito e seus graus de complexidade impactam no processo autorregulatório como um todo. Na medida em que indivíduos sofisticam seu mecanismo autorregulatório, também expandem seu conhecimento e suas competências cognitivas (Zimmermann, 1989).

A primeira subfunção, a auto-observação, consiste na capacidade do indivíduo de monitorar seu próprio comportamento. De acordo com Franco *et al.* (2024), um indivíduo, ao monitorar suas atividades, engloba informações e crenças que poderão favorecer diferentes dimensões de desempenho. Em nosso entendimento, no tocante à mobilização de um conceito, a auto-observação consiste, então, na etapa onde o indivíduo projeta os desafios que imagina que enfrentará diante duma situação nova, influenciados por suas experiências prévias e padrões pessoais (antecipações). Se trata de um “autorregistro”, um desafio interno ou externo designado pelo indivíduo como “necessário superar” para o enfrentamento de uma situação. Por exemplo, de um lado, um estudante pode projetar a necessidade do domínio de habilidades matemáticas, como a manipulação de matrizes, para compreender o conceito de tensor espaço-tempo; por outro lado, pode imaginar ser indispensável lidar com sentimentos de ansiedade, confusão e frustração para realizar uma prova sobre tensor espaço-tempo.

A autoavaliação envolve a capacidade do indivíduo de avaliar seu próprio comportamento, momento onde identifica os desafios que efetivamente enfrentou e quais deles foram determinantes no seu desempenho (subelemento denominado atribuições causais), além de ser a etapa na qual atribui uma importância, a partir de sua avaliação, para as situações que enfrentou e os conceitos que mobilizou (subelemento denominado importância atribuída). Cabe ressaltar que os desafios apontados como determinantes no desempenho não necessariamente confirmam os desafios auto-observados. Novos aspectos podem surpreender o indivíduo e serem elencados como fatores causais no seu processo de aprendizagem.

Por fim, a autorreação consiste na capacidade do indivíduo de reagir às suas experiências e pensamentos, expressando sentimentos e atualizando seus cursos de ação com intuito de atingir seus objetivos. O Quadro 3.1 sintetiza as características de cada subfunção autorregulatória.

Quadro 3.1 – As subfunções autorregulatórias e suas características

Subfunção		Atividade	Exemplos
Auto-observação		Projetar dificuldades a serem superadas na situação	Um aluno projeta que precisa saber sobre velocidade média para resolver um problema de cinemática; Uma estudante projeta que precisa dominar o fenômeno da fenda-dupla para compreender a dualidade onda-partícula.
Autoavaliação	Atribuição causal	Perceber dificuldades determinantes para superar a situação	Um aluno percebe que foi suficiente saber regra de três para resolver problemas de estequiometria; Uma estudante percebe que foi essencial abandonar a noção de causalidade para compreender o experimento da fenda-dupla.
	Importância atribuída	Atribuir grau de relevância aos elementos da situação	Uma estudante considera o conceito de força como um elemento central na Mecânica Clássica; Um estudante considera integrais trigonométricas um assunto muito específico e pouco importante.
Autorreação		Expressar sentimentos e reações ao processo	Uma estudante manifesta curiosidade e decide ler artigos sobre computação quântica; Um estudante indica frustração após uma prova e decide abandonar uma disciplina.

Mecanismos autorregulatórios já foram articulados em diferentes áreas, por exemplo, no ensino de Física (Stewart *et al.*, 2016; Maison *et al.*, 2019) e de Matemática (Semensato *et al.*, 2023). Nessas pesquisas, a autorregulação é atrelada ao desenvolvimento de hábitos e estratégias de estudo, bem como às crenças de autoeficácia de estudantes e ao comportamento, embarcados no que é denominado de “autorregulação da aprendizagem” (Polydoro *et al.*, 2015; Frison, 2016; Bilhalba, 2019; Flumihan & Murgó, 2019;. Semensato *et al.*, 2023).

A Figura 3.1 exemplifica um processo de autorregulação da aprendizagem. No exemplo, diante de uma situação nova de resolução de um problema aberto (Figura 3.1A), o sujeito executa processos autorregulatórios (figuras 1B e 1C), impactados por suas intencionalidades e antecipações (Figura 3.1A), autorreagindo sobre seu processo conforme a mediação docente (Figura 3.1B). O estudante auto-observa quando projeta os desafios a superar na situação, nesse exemplo, traçar uma estratégia de resolução para o problema. Se autoavalia na medida em que identifica os fatores determinantes da sua performance, como o grau de dificuldade do problema e a revisão de conteúdos. Por fim, autorreage ao expressar sentimentos sobre o processo e definir ações futuras.

Os processos autorregulatórios pressupõem intencionalidade, mas não necessariamente são operados conscientemente. A capacidade metacognitiva de refletir sobre si mesmo e o próprio processo autorregulador caracteriza a autorreflexão (Figura 3.1C). É o ponto crítico da agência humana, na qual o sujeito avalia seus os cursos de ação realizados, bem como os valores morais e as motivações que impactaram nesse comportamento. Com isso, pode mudar suas intencionalidades e projetar novos cursos de ação, reciclando e complexificando o processo autorregulatório. Como exemplificado na Figura 3.1, um estudante com maior capacidade de autorrefletir sobre as subfunções autorregulatórias que opera apresentará maior capacidade de regular seu aprendizado e, com isso, propiciar um aprendizado mais profundo.

Figura 3-2 – Exemplo de execução de processos da agência humana na “autorregulação da aprendizagem”.



Fonte: elaboração própria.

Nessa perspectiva, a atribuição de sentido pode ser entendida como um processo autorregulatório. No enfrentamento de situações, o sujeito incorpora um sentido a uma experiência ou conceito, ao passo que autorregula seu comportamento para atingir o objetivo de apreendê-lo (Franco *et al.*, 2024). Em particular, consideramos que diante de uma situação de aprendizagem, uma pessoa se esforça para assimilá-la identificando dificuldades a superar, avaliando quais dificuldades foram determinantes, julgando os elementos da atividade em si e

reagindo perante seu aprendizado. No exemplo da Figura 3.1, ao executar essas subfunções, o estudante poderia formular o seguinte sentido: “a conservação de energia é uma ferramenta ampla e útil para avaliar problemas abertos”.

Dessa forma, a noção de situação é importante para compreender a atribuição de sentido enquanto mecanismo autorregulatório. Um estudante constantemente sujeito a atividades de resolução de problemas “livrescos”, projetará e confirmará desafios intrincados ao tipo de problema; atrelará os conceitos à resolução de exercícios e reagirá conforme sua performance. Com isso, poderá atribuir sentidos aos conceitos da Física numa conotação de “plug and chug” (Mason e Singh, 2016), ou seja, de artifícios que respondem perguntas prontas. Por outro lado, uma situação mais aberta, ou uma situação de diálogo, demandará uma atividade autorregulatória distinta. Com isso, sentidos diferentes poderão ser formulados. Por exemplo, o mesmo estudante acostumado com resolução de exercícios fechados, ao se deparar com perguntas como “Qual a origem do conceito de energia?” e “Quem ‘inventou’ esse conceito?” poderá ter um desequilíbrio; suas projeções de dificuldade possivelmente serão surpreendidas por outros fatores determinantes, como, nesse caso, informações sobre a história do conceito. Diante disso, ele atribuirá uma nova importância a esse conceito. Sua autorreação diante da nova situação indicará se o seu sentido para a energia foi alterado. Caso positivo, por exemplo, poderá considerar que “a energia resulta de uma busca histórica por uma quantidade universal”. Caso negativo, é possível que expresse insatisfação ou confusão com uma atividade tão distante do habitual, e seu sentido se mantenha na perspectiva de resolução de problemas.

Assim, uma forma de investigar o sentido que é atribuído a um conceito da Física consiste em analisar perfis de atividades autorregulatórias, ou seja, as subfunções internas de auto-observação, autoavaliação e autorreação executadas pelo indivíduo perante as situações em que mobiliza um conceito. Como dito, mesmo em situações similares cada indivíduo passa por um processo particular de autorregulação. Portanto, atribui um sentido próprio para o conceito. Além disso, conforme ilustrado na Figura 3.2, os processos autorregulatórios são precedidos de antecipações, por expectativas de resultados que, por sua vez, recordam as experiências prévias e as intencionalidades. Além disso, a reflexão sobre o próprio processo de aprendizado impacta na elaboração do sentido e na capacidade

autorregulatória. Avaliar um sentido atribuído nessa perspectiva é, então, levar em conta as diferentes facetas da agência humana.

Figura 3-3 – A atribuição de sentido como resultado da agência humana no enfrentamento de uma situação.



Fonte: elaboração própria.

De forma geral, consideramos que esses processos podem impactar de modo distinto a atribuição de sentido. Uma intencionalidade, por exemplo, pode direcionar o sentido por meio da seletividade de um estudante, isto é, dos aspectos que ele considera mais relevante com base em seus objetivos gerais. Já as antecipações, evidentemente, contribuem para uma pessoa avaliar que tipo de resultados podem emergir em uma situação. Isso poderia predispor uma estudante a reagir de determinada forma em situações específicas. Esses dois processos culminam em diferentes atividades autorregulatórias, que podem ser mais ou menos sofisticadas e, com isso, produzirem projeções, avaliações, reações e, conseqüentemente, sentidos diferentes. Por fim, o sentido atribuído pode ser formulado em diferentes níveis, na medida em que a pessoa autorreflete sobre o processo de aprendizado.

#### 4 METODOLOGIA PARA INFERÊNCIA DE SENTIDOS

O Estudo 1 desta dissertação motivou a investigação do processo de atribuição de sentidos a conceitos de Física. Embasados na noção de agência humana da Teoria Social Cognitiva, bem como na pesquisa de Franco *et al.* (2024), entendemos esse processo como uma atividade autorregulatória permeada por intencionalidades, antecipações e autorreflexões. A partir disso, realizamos dois estudos independentes: no Estudo 2, visando os objetivos **OE2 e OE3**, avaliamos uma metodologia de inferência de sentidos em larga escala, num minicurso *online* de divulgação científica sobre Mecânica Quântica, especificamente sobre o conceito de dualidade onda-partícula. Produzimos testes padronizados sobre o experimento da fenda-dupla e questionários dissertativos sobre autorregulação; das respostas para esse questionário, categorizamos as subfunções autorregulatórias manifestadas pelos participantes. Por meio de uma análise de similitude dessas categorias de subfunções autorregulatórias, inferimos perfis de atividade autorregulatória e, com isso, os sentidos atribuídos ao conceito de dualidade onda-partícula. Realizamos, então, uma análise de cluster para associar cada participante a um sentido inferido. A partir disso, realizamos testes de correlação estatística, com a finalidade de investigar relações entre o sentido atribuído ao conceito e outros parâmetros relevantes, como o nível educacional e a performance em testes padronizados.

No Estudo 3, ampliamos a discussão sobre a atribuição de sentido, considerando o impacto das intencionalidades, antecipações e autorreflexões nesse processo. Visando o **OE4**, investigamos os sentidos atribuídos a conceitos da Mecânica Clássica em aulas com abordagem histórica numa disciplina introdutória do curso de Licenciatura em Física da UFRGS. Em particular, investigamos os sentidos atribuídos ao modelo de Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) e à Noção de Conservação de grandezas (NC). Para inferí-los, elaboramos novas análises de similitude. Entretanto, também realizamos entrevistas semi-estruturadas com os participantes, com a finalidade de investigar aspectos da agência humana que impactaram nos sentidos que manifestaram.

Os processos metodológicos utilizados nesses dois estudos constam na Figura 4.1. Como se pode observar na figura, ambos os estudos 2 e 3 se balizam



discursivas. A partir disso, pudemos avaliar as fases de auto-observação, autoavaliação e autorreação a partir de uma perspectiva mais ampla, com base nos relatos de experiência dos próprios participantes. Uma vez que os instrumentos padronizados não se alinham com a situação particular desta pesquisa, a saber, da investigação dos sentidos atribuídos a conceitos da Física, consideramos mais coerente usar perguntas abertas que pudessem englobar manifestações distintas.

O Quadro 4.1 é um modelo genérico de questionário, fortemente inspirado no instrumento explorado em Franco *et al.* (2024), utilizado nos estudos 2 e 3. Associando a atribuição de sentido a um perfil de atividade autorregulatória, os itens do questionário foram formulados com a intenção de permitir uma conexão entre as respostas dos participantes. Visando uma análise similitude, foram desenvolvidas perguntas para investigar os desafios que os participantes projetavam que teriam (auto-observação), aqueles desafios que de fato enfrentaram (autoavaliação, atribuição causal), a importância atribuída a isso (autoavaliação, importância do conceito) e como reagiram a essas experiências (autorreação).

Quadro 4.1 – Modelo de questionário sobre autorregulação utilizado nos estudos 2 e 3.

Questão/Pergunta	Subfunção
1. Que dificuldades você imaginou que teria previamente para aprender sobre o conceito? Por exemplo, quando o professor iniciou as discussões sobre o conceito, o que você considerou que já precisava saber e o que supostamente teria que superar para aprendê-lo?	Auto-observação
2. Que dificuldades você de fato enfrentou durante as atividades sobre o conceito?	Autoavaliação: Atribuição causal
3. Quais destas dificuldades citadas na questão anterior você considerou fundamental superar para que pudesse aprender e utilizar o conceito?	
4. Que importância você atribui para a compreensão do que é o conceito? Ou seja, para você, qual é a importância do conceito enquanto conhecimento da Física?	Autoavaliação: Importância atribuída
5. Indique até dois tipos de sentimentos que emergiram em você durante as atividades sobre o conceito. Justifique suas escolhas. ( ) Satisfação, felicidade, etc. ( ) Motivação, curiosidade, etc. ( ) Indiferença ( ) Necessidade de estudar mais, revisar outros conceitos, etc. ( ) Confusão, agonia, tristeza, etc. ( ) Insatisfação, repulsa, etc.	Autorreação
6. As atividades sobre o conceito influenciarão sua capacidade de avançar nos estudos sobre Física? Justifique.	

Por exemplo, a questão 1 (ver Quadro 4.1) se refere à subfunção de auto-observação, possibilitando identificar que dificuldades um participante entendeu que teria que superar para aprender um determinado tópico, ou seja, que desafios ele/a projetou que iria enfrentar ao longo de seus estudos. Por outro lado, as questões 2 e 3 possibilitaram em conjunto avaliar a atribuição causal, um dos elementos da subfunção autoavaliação, na qual os participantes declaram as dificuldades que efetivamente enfrentaram durante as experiências de aprendizagem. A questão 4 se refere ao grau de importância, isto é, ao status que os participantes atribuíram para o conceito estudado. Por fim, as duas últimas questões do instrumento permitem investigar o tipo de autorreação que os participantes manifestaram. Essa última subfunção é analisada ao articular os sentimentos expressos pelos participantes durante as atividades com as perspectivas de estudo que projetam para o futuro.

As respostas aos questionários foram analisadas em conjunto pelo mestrando e seus orientadores. Sempre que necessária, uma revisão abrangente de todo o questionário foi realizada para refinar e estabelecer a categoria de um participante em uma subfunção específica. Por exemplo, se a resposta de um participante à primeira pergunta do questionário, referente ao processo de auto-observação, se mostrasse insuficiente para determinar a categoria apropriada, uma análise minuciosa das outras respostas do questionário contribuiu para a tomada de decisão, como nas atribuições causais que ele pode ter revelado nas perguntas 2 e 3.

## 4.2 ANÁLISE DE SIMILITUDE

A análise de similitude é um procedimento qualitativo de identificação de co-ocorrência entre palavras (Camargo & Justo, 2013). Essa análise gera redes semânticas nos quais conecta palavras por quantidade de vezes em que estiveram relacionadas em um corpus textual; também permite destacar elementos como a quantidade ou a frequência percentual das co-ocorrências entre duas palavras. Mais importante, o *software* IRAMUTEq, por meio de análises de similitude, agrupa as palavras mais “próximas”, gerando representações gráficas com “ilhas” de palavras, além de destacar a palavra central dessa ilha.

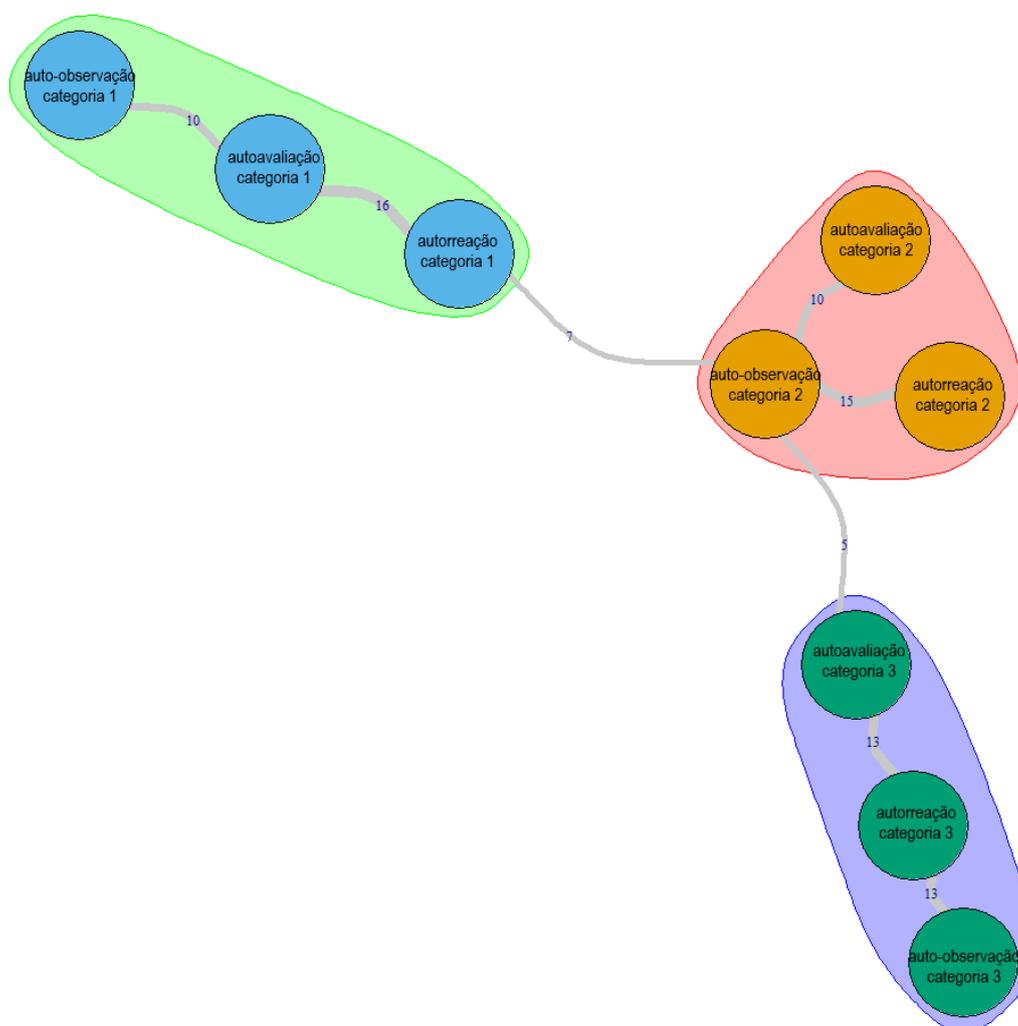
Numa análise de similitude, as redes semânticas são construídas via procedimentos estatísticos. Caracteriza-se um grau de similitude entre duas

palavras, seja via testes de correlação ou pela razão entre a quantidade de co-ocorrência e a quantidade total de ocorrências. Uma matriz de similaridade é então calculada entre todas as palavras do corpus textual, possibilitando a geração de grafos que conectam nós (palavras) por meio de arestas (frequências de co-ocorrências) com base nos maiores valores da matriz. Nesse estudo, adotamos em particular a rede semântica de similitude da árvore máxima, modelo no qual identifica-se as co-ocorrências mais frequentes entre um grupo de palavras e eliminam-se conexões de menor co-ocorrência (Costa, 2024). Dessa forma, é estabelecido um nó principal conectado a outros nós sem que se encerrem circuitos de nós via arestas. Portanto, nesse formato de grafo a rede semântica é intencionalmente simplificada, o que torna a análise qualitativa, haja vista que a interpretação é subjacente as características dessa rede semântica específica. Mais que isso, a interpretação dessas redes semânticas conduz a elaboração de afirmações declarativas concernentes as relações (co-ocorrências) destacadas, o que pode subjugar ou omitir outras relações importantes.

A Figura 4.2 ilustra os resultados de uma análise de similitude no *software* IRAMUTEq. Como indica a figura, nesta pesquisa, as “palavras” analisadas foram as categorias das subfunções autorregulatórias identificadas nos questionários utilizados nos estudos 2 e 3. Por exemplo, a categoria rotulada de “auto-observação categoria 1”, na ilha verde da Figura 4.2, corresponde a um tipo de auto-observação identificado nas respostas ao questionário. Após a categorização dessas respostas, registrou-se num arquivo de texto as quatro subfunções manifestadas por cada participante – auto-observação, atribuição causal e importância atribuída (subelementos da autoavaliação), e autorreação. A análise de similitude destaca, então, as categorias mais co-ocorrentes nesse arquivo. Na Figura 4.2, o número 10 (dez) que conecta a “auto-observação categoria 1” com a “autoavaliação categoria 1” indica que essas duas subfunções foram manifestadas dez vezes em conjunto. Desse modo, é possível avaliar quais subfunções estiveram mais relacionadas e, a partir disso, traçar perfis de atividade autorregulatória. Por exemplo, na Figura 4.2, as subfunções “autoavaliação categoria 3”, “autorreação categoria 3” e “auto-observação categoria 3” constituem um perfil de atividade autorregulatória bastante recorrente, delineando, inclusive, uma ilha de subfunções. Por outro lado, as categorias “autorreação categoria 1”, “auto-observação categoria 2” e “autoavaliação

categoria 3" são menos co-ocorrentes, apesar de terem sido, ocasionalmente, manifestadas em conjunto.

Figura 4-5 – Exemplo de diagrama gerado pela análise de similitude no software Iramuteq.



Fonte: adaptado do software IRAMUTEq.

A partir da interpretação desses perfis de atividade autorregulatória, inferimos possíveis sentidos atribuídos a um conceito. Por exemplo, considerando o tipo de dificuldade projetada (auto-observação), o contraste disso com as dificuldades determinantes (atribuição causal), bem como a importância atribuída e os sentimentos/reação esboçados (autorreação), inferimos um tipo de posicionamento ou conotação para o tópico. Na Figura 4.2, por exemplo, poderiam ser indicados três sentidos distintos para o mesmo construto, sendo cada um deles caracterizado, de forma geral, pelas ilhas de subfunções indicadas. Entretanto, como pode se

observar na figura, duas ilhas de palavras sempre são geradas com, pelo menos, uma palavra interconectada na análise de similitude. Nessa pesquisa, então, trata-se de uma subfunção permeando dois ou mais perfis de atividade autorregulatória. Isso implica que podem existir participantes que manifestam uma mesma subfunção autorregulatória, porém sentidos diferentes para o conceito. Por exemplo, dois participantes podem manifestar a mesma projeção de dificuldades (auto-observação) para o estudo de um conceito, até mesmo as mesmas atribuições causais (subelemento da autoavaliação); entretanto, podem diferir nos sentimentos que experienciaram ao longo das aulas e, com isso, indicar autorreações diferentes. Como consequência, podem construir sentidos diferentes para o mesmo tópico.

Em outras palavras, a análise de similitude não indica a posição de cada participante nas ilhas de palavras, ou, nesse caso, não comunica qual o sentido atribuído por eles ao tópico subjacente. É necessária uma avaliação posterior para caracterizar cada participante. No Estudo 2, por exemplo, realizamos uma análise de cluster para agrupar os participantes por modelos estatísticos. No Estudo 3, analisamos as subfunções particulares de cada participante e contrastamos os sentidos inferidos com os manifestados numa entrevista semi-estruturada.

## 5 ESTUDO 2: SENTIDOS PARA O CONCEITO DE DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA NUM MINICURSO ONLINE DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA<sup>10</sup>

Como discutido no Capítulo 4, almejamos no Estudo 2 alcançar os objetivos **OE2** e **OE3**. Em particular, no estudo a ser relatado, avaliamos uma metodologia para a inferência de sentidos, pautada essencialmente nos processos autorregulatórios. Nessa perspectiva, então, inicialmente consideramos o processo de atribuição de sentido como uma atividade autorregulatória. Na tentativa de assimilar uma situação de aprendizagem, uma pessoa projeta dificuldades (auto-observação), identifica as dificuldades determinantes (autoavaliação, atribuição causal), confere uma importância a esses elementos (autoavaliação, importância atribuída) e esboça um plano de ação (autorreação). Nesse processo, ela elabora uma “razão de ser”, uma resposta para o “porque” e “para que” os elementos da situação existem, incluindo os conceitos mobilizados.

Do ponto de vista da TSC, esse processo pode ser impactado por outros aspectos da agência humana; entretanto, visando uma análise em larga escala, no Estudo 2 nos limitamos ao estudo dos mecanismos autorregulatórios, considerando esse processo o mais relevante na atribuição de sentido.

Frente a uma investigação em larga escala, consideramos adequado o Estudo 2 se debruçar sobre atividades de divulgação científica. É reconhecido na literatura que a divulgação científica é uma importante ferramenta de disseminação do conhecimento científico. Pesquisas sugerem, inclusive, que ela seja tratada com o mesmo rigor de pesquisas científicas para que atinja eficientemente o público geral (Varner, 2014). Embora a divulgação científica possa ser entendida como um meio de circulação do conhecimento científico (Fioresi e Silva, 2022), ela é considerada eficiente quando promove um entendimento compartilhado de um conceito ou fato científico entre cientistas e o público (Fischhoff, e Scheufele, 2013). Nesse sentido, a divulgação científica faz a mediação entre a comunidade científica e o público geral (McClure *et al.*, 2020). Em particular, a divulgação científica pode ser vista como uma forma de textualização do conhecimento científico (Fioresi e Silva, 2022), em que a circulação de ideias cria conhecimento dentro de um público particular,

<sup>10</sup> Este estudo foi publicado em um artigo na revista *European Journal of Physics*, no ano de 2024. Intitulado de “*Sensemaking of wave-particle duality in a scientific Outreach minicourse: a study based in self-regulation*”, encontra-se disponível pelo DOI: [10.1088/1361-6404/ad8a29](https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad8a29).

exigindo, assim, práticas que mobilizem elementos simbólicos (Silva, 2018). Inicialmente difundida por meio de livros didáticos e revistas, posteriormente com o surgimento da mídia digital (filmes, documentários etc.) e, agora, com a consolidação das redes sociais<sup>11</sup>, o uso de uma linguagem mais simples e acessível nesses espaços — sem perder a fidelidade ao significado original dos conceitos científicos — posiciona a divulgação científica como um meio de traduzir conceitos técnicos (Albagli, 1996). Essa tradução facilita a transposição didática da informação acadêmica para um público leigo (Labarca e Teixeira, 2021). Como enfatiza Martins (1998), o público não deve ser privado dos avanços científicos, e a divulgação científica surge como uma via promissora para atrair novos talentos à “cultura científica” (Barbosa, 2023).

Entretanto, os atuais espaços de disseminação são frequentemente mal utilizados. Em particular, com a consolidação de meios de comunicação em massa, como a internet e as redes sociais, fenômenos de desinformação sobre o conhecimento científico circulam de forma acintosa. Por exemplo, a área da Mecânica Quântica é cercada por interpretações misticistas e, inclusive, charlatãs. O termo “quântico” é repetidamente estendido a domínios não pertinentes (Barbosa, 2023), como, por exemplo, ao campo das terapias. Conceitos dessa área, apresentados de forma pouco precisa, fomentam ideias pseudocientíficas ou, pelo menos, extrapoladas. Não são raros os casos em que a dualidade onda-partícula e o experimento da fenda-dupla, por exemplo, são apresentados subjacentes à noção de seres conscientes capazes de influenciar eventos físicos pela mera observação visual.

Nessa perspectiva, o Estudo 2 investigou as experiências de um minicurso *online* de divulgação científica sobre Mecânica Quântica. Como será descrito a seguir, o minicurso foi implementado em duas aulas síncronas de aproximadamente duas horas e meia de duração. A partir desse minicurso, investigamos os sentidos

<sup>11</sup> Particularmente, redes sociais como o Instagram (<https://www.instagram.com/>) dispõem de ferramentas poderosas para a comunicação científica, dada sua capacidade de alcançar rapidamente um vasto público, fenômeno comumente conhecido como “viralização”. Embora isso facilite a disseminação rápida de informações, também pode ser uma fonte de desinformação; a demanda por conteúdos breves e simplificados favorece transposições que distorcem o conhecimento de sua forma original, transformando-o em um produto consumível. Nesse sentido, é fundamental utilizar esses espaços como canais de comunicação científica, mas com compromisso e responsabilidade pedagógica, visando evitar problemas como a má interpretação e distorção do conhecimento científico.

atribuídos ao conceito de dualidade onda-partícula. As questões de pesquisa desse estudo foram as seguintes:

1. Quais os sentidos atribuídos ao conceito de dualidade onda-partícula num minicurso de divulgação científica sobre o experimento da fenda-dupla?
2. Em que medida a autorregulação permite identificar os sentidos atribuídos a um conceito de Física?
3. Nesse contexto, existe uma correlação entre o sentido atribuído a dualidade onda-partícula e a performance dos participantes em um teste padronizado sobre o experimento da fenda-dupla?
4. Existe uma correlação entre o sentido atribuído a dualidade onda-partícula e o nível educacional dos participantes?

Para responder a essas questões, elaboramos um teste padronizado sobre o experimento da fenda-dupla e um questionário dissertativo sobre autorregulação baseado no Quadro 4.1 (ver Capítulo 4). Como descrito na Figura 5.1, categorizamos, a partir desse questionário, as subfunções autorregulatórias identificadas nas 181 respostas recebidas. Uma análise de similitude dessas respostas, no *software* IRAMUTEq, possibilitou a inferência de perfis de atividade autorregulatória e, portanto, dos sentidos atribuídos ao conceito de dualidade onda-partícula. Posteriormente, uma análise de cluster foi executada no *software* Jamovi, para associar cada participante a um sentido inferido. Por fim, realizamos testes não-paramétricos de significância e testes de correlação estatística, para traçar relações entre o sentido e outros parâmetros, como o nível educacional e a performance no teste padronizado sobre o experimento da fenda-dupla.

## 5.1 CONTEXTO DE PESQUISA

Esse estudo foi desenvolvido no âmbito de um minicurso online sobre o experimento da fenda-dupla e o conceito de dualidade onda-partícula. Os participantes foram convidados através do perfil do Instagram<sup>12</sup> de um dos

<sup>12</sup> Disponível em <https://www.instagram.com/nathan.w.lima/>.

orientadores dessa dissertação, dedicado à divulgação científica. Um formulário de inscrição online foi compartilhado nessa rede social e em listas de e-mails com endereços de professores que já participaram de cursos na universidade. O minicurso ocorreu em agosto de 2023 e consistiu em duas sessões síncronas, totalizando cinco horas de estudo. Antes das sessões, os participantes responderam a um questionário com itens de caracterização (nome, informações de contato, área de estudo, campo profissional, etc.) e com as questões do teste padronizado relacionadas ao experimento da fenda-dupla (ver Seção 5.1.2). Durante a segunda e última sessão, os participantes responderam novamente ao teste padronizado, mas também o questionário sobre autorregulação (ver Seção 5.1.1), composto de sete perguntas abertas que serviram de base para a análise dos processos autorregulatórios. Ao se inscrever, os participantes consentiram com o uso dos questionários preenchidos para fins de pesquisa (vide Apêndice B).

Ao todo, 272 indivíduos participaram, com 121 participantes respondendo tanto ao teste padronizado no início e no final, quanto ao questionário sobre autorregulação. Desses 121 participantes, 82 eram homens e 39 mulheres. Em relação à formação educacional, 29 tinham Ensino Médio completo, 56 tinham Graduação incompleta e 36 estavam na Pós-graduação. Além disso, 18 participantes declararam ter estudado previamente o conceito de Dualidade Onda-Partícula (DOP) no nível do Ensino Médio, 58 no nível de Graduação e 24 no nível de Pós-graduação; outros 21 participantes afirmaram ter explorado o conceito em contextos informais. Também entre esses 121 participantes, 53 afirmaram ser professores em exercício na Educação Básica do Brasil, sendo 28 deles exclusivamente professores de Física.

O minicurso foi cuidadosamente planejado para o público em específico, que já acompanhava as iniciativas de divulgação científica do perfil do Instagram. Esse perfil conta com mais de trinta mil seguidores e dissemina informações sobre temas que abrangem Física e ensino de Física, com ênfase na Mecânica Quântica. Por exemplo, um vídeo destacando as pesquisas do físico Werner Heisenberg alcançou mais de 160 mil visualizações<sup>13</sup>, enquanto outro *post* detalhando o “botão de *Quench*”<sup>14</sup>, também conhecido como “botão de descarte”, atingiu 190 mil visualizações.

<sup>13</sup> Disponível em <https://www.instagram.com/reel/CiQv6apgjex/>.

<sup>14</sup> Disponível em <https://www.instagram.com/reel/Cnxkd5EhrvN/>.

A abordagem pedagógica do curso foi do tipo fenomenológica (Pereira *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2017), ou seja, centrada na exposição do conhecimento a partir de e atrelado à um ou mais fenômenos, neste caso, o experimento da fenda-dupla. A abordagem fenomenológica se distingue de outras duas principais abordagens no Ensino de Física — a postulacional, centrada em postulados, aparatos matemáticos e na apresentação direta de conceitos e definições; e a histórica, focada no contexto histórico da construção do conhecimento — ao articular o conteúdo em torno de um fenômeno natural ou de algum arranjo experimental, mantendo constantemente o foco nesse elemento para facilitar a construção de conhecimento derivado dele. Prioriza-se nesse tipo de abordagem, portanto, a suavização do formalismo matemático e a realização de discussões qualitativas em termos de conceitos operacionais “mais próximos da realidade física”, em detrimento entidades matemáticas abstratas (Pereira *et al.*, 2012).

Como enfatizado, os estudantes frequentemente enfrentam desafios ao aprender Mecânica Quântica, particularmente com o conceito de dualidade onda-partícula. Uma dificuldade primária decorre da tendência de aplicar o raciocínio da Física clássica, levando a ideias limitantes, como "o elétron é ou uma partícula ou uma onda". Nesse contexto, a dualidade se refere à ideia de que objetos físicos podem exibir comportamentos diferentes dependendo da situação. Alguns pesquisadores sugerem abandonar a ideia de dualidade e, em vez disso, descrever objetos em escala quântica, como elétrons ou fótons, como entidades que estão entre as categorias clássicas, utilizando termos como "*wavicles*" (Eddington, 1928; Hunter e Wadlinger, 1987; Gantsevich, 2021). No entanto, neste curso, nos atemos ao termo "dualidade" para manter a linguagem acessível e desmistificar um conceito que muitas vezes é visto como confuso.

A organização do minicurso é apresentada na Quadro 5.1. Durante a sessão inaugural, a natureza dual do elétron foi problematizada meticulosamente, com base no conhecimento da Física até meados do século XX e na apresentação de experimentos que geraram interpretações divergentes sobre a natureza do elétron. Essa discussão foi expandida na segunda sessão, à medida que as consequências do experimento da fenda-dupla para partículas, ondas e elétrons foram contrastadas, culminando na formulação das interpretações fraca e forte (Pessoa Junior, 2020) do fenômeno. Esse diálogo foi acompanhado por discussões sobre as implicações filosóficas que surgiram dessas interpretações. Devido à natureza

remota do curso e ao grande número de participantes, as sessões listadas na Quadro 5.1 foram majoritariamente baseadas em exposições via *slides*.

Quadro 5.1 – Sessões do minicurso online sobre o experimento da fenda-dupla e a dualidade onda-partícula.

Encontro	Sessão	Duração	Descrição
1º	Introdução ao curso; Respostas ao teste padronizado.	30 min	Apresentação dos objetivos do curso para o público, seguida de um momento para que os participantes respondam ao teste padronizado.
	Síntese da Física Clássica até a metade do século XX.	30 min	Discussão sobre as relações de fronteira entre Mecânica Clássica, Eletromagnetismo e Termodinâmica (Relatividade, Mecânica Estatística e Mecânica Quântica).
	Introdução do experimento da fenda-dupla e a revisão dos conceitos de partícula e onda.	20 min	Descrição do aparato experimental e resultados do experimento da fenda-dupla com partículas "clássicas" (distribuição gaussiana de partículas na tela) e ondas (padrão de interferência característico na tela). Diferenciação dos conceitos de partículas e ondas a partir de uma perspectiva clássica: i. A partícula é indivisível, massiva, com trajetória e localização definidas; ii. A onda é não massiva (transporte de energia), com trajetória indefinida e não localizada no espaço.
	Revisão dos experimentos com elétrons no início do século XX.	20 min	Contraste entre os resultados e conclusões de experimentos com tubos de raios catódicos e a relação carga-massa do elétron (elétrons exibem propriedades de partículas) com o experimento da fenda-dupla com elétrons (elétrons exibem propriedades de onda).
	Problematização: afinal, o que é o elétron?	20 min	Problematização final da sessão, considerando as discussões anteriores.
	Sessão de perguntas e respostas.	30 min	Momento final para que os participantes apresentem suas perguntas e considerações sobre as discussões do curso.
2º	Recapitulação do primeiro encontro e sessão de perguntas e respostas.	30 min	Breve síntese sobre o primeiro encontro, seguida de uma sessão de perguntas pelos participantes.
	Discussão: experimento da dupla-fenda com elétrons sem detector.	20 min	Apresentação e discussão dos resultados do experimento da fenda-dupla com elétrons no caso sem detecção da fenda pela qual os elétrons passam, ou seja, sem interação do elétron com a radiação, apresentando um padrão de interferência na tela que marca os caminhos dos elétrons.
	Discussão: experimento da dupla-fenda com elétrons e com detector.	20 min	Apresentação e discussão dos resultados do experimento da fenda-dupla com elétrons no caso de detecção da radiação da fenda pela qual passam, onde o padrão de interferência é interrompido.
	Interpretação fraca e forte do experimento da fenda-dupla com elétrons.	15 min	Apresentação das interpretações fraca e forte (Pessoa Junior, 2020) dos resultados dos experimentos com e sem detector.

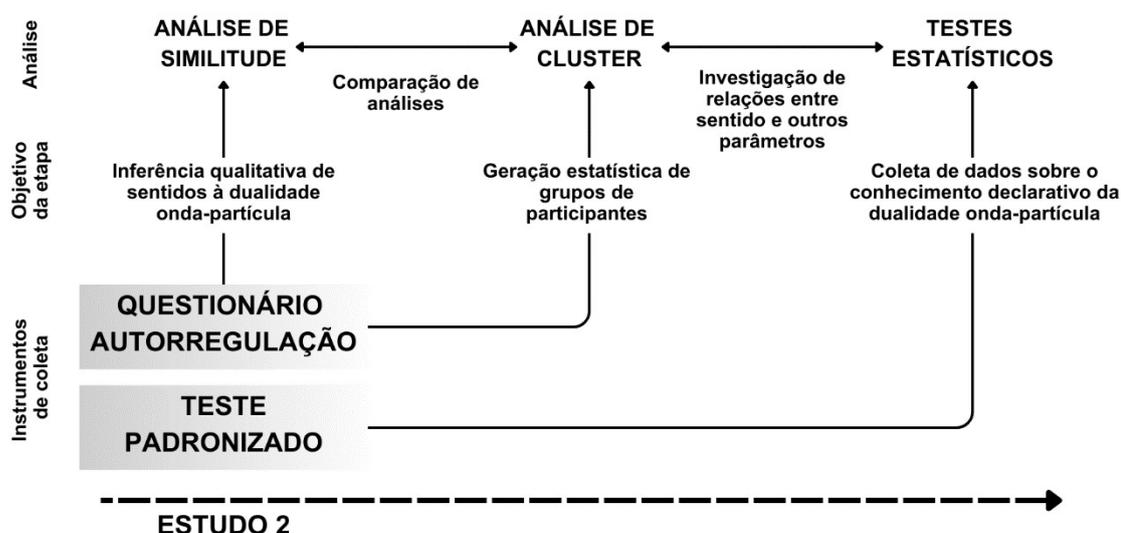
	Discussão dos aspectos filosóficos da Física Clássica e Quântica.	15 min	Contraste e discussão das características filosóficas da Física Clássica (realismo, determinismo, causalidade, localidade) com os aspectos evocados pelas interpretações do experimento da fenda-dupla (não-realismo, não-determinismo, não-causalidade, não-localidade).
	Sessão de perguntas e respostas; Respostas ao teste padronizado e ao questionário sobre autorregulação.	40 min	Sessão final de perguntas dos participantes, seguida de um momento para a resposta ao questionário sobre autorregulação e ao teste padronizado.

## 5.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Com a finalidade de investigar os sentidos atribuídos ao conceito de dualidade onda-partícula, articulamos, no Estudo 2, análises qualitativas e quantitativas a partir do teste padronizado e do questionário de autorregulação. Esse processo metodológico misto consta na Figura 5.1.

Na sequência, descreveremos a adaptação do questionário de autorregulação para o contexto do Estudo 2, e apresentaremos a construção do teste padronizado sobre o experimento da fenda-dupla que permitiu avaliar o conhecimento declarativo sobre a dualidade onda-partícula. Não descreveremos a análise de similitude, discussão feita no Capítulo 4, mas apresentaremos a análise de cluster que visou corroborar a análise de similitude e permitiu realizar testes estatísticos com os participantes do minicurso. Esses testes também serão descritos nas seções a seguir.

Figura 5-6 – Processos metodológicos dos Estudo 2.



Fonte: elaboração própria.

### 5.2.1 Questionários sobre autorregulação

Com base no Quadro 4.1, apresentado no Capítulo 4, elaboramos um questionário sobre autorregulação associado ao conceito de dualidade onda-partícula. Aplicado ao final do minicurso, ele foi construído subjacente às experiências dos participantes no minicurso de divulgação científica. As perguntas constam no Quadro 5.2.

Quadro 5.1 – Questionário sobre autorregulação referente ao conceito de dualidade onda-partícula

Pergunta	Subfunção
1. Quando o professor apresentou o problema da natureza do elétron, que desafios você identificou para entender esta discussão? Isto é, o que você considerou que precisava saber para aprender sobre a natureza dual do elétron?	Auto-observação
2. Que dificuldades você atribuiu para a compreensão da dualidade onda-partícula?	Autoavaliação: Atribuição causal
3. O que você considerava fundamental para se tornar capaz de utilizar o conceito da dualidade onda-partícula em situações da Física?	
4. Que importância você atribuiu para a compreensão da dualidade onda-partícula?	Autoavaliação: Importância atribuída
5. Como as experiências deste curso influenciarão os seus estudos sobre o conceito da dualidade onda-partícula? Isto é, caso tenha intenção, como pretende dar continuidade aos estudos desse conceito após o curso?	Autorreação
6. As experiências deste curso influenciaram sua capacidade de estudar conceitos da Mecânica Quântica? Justifique sua resposta.	
7. Que emoções você teve durante as experiências do curso?	

Como discutido, os itens do questionário são formulados com a intenção de possibilitar uma conexão entre as respostas dos participantes. Com isso em mente, as perguntas foram desenvolvidas para investigar os desafios que os participantes projetavam que teriam (auto-observação), aqueles que efetivamente enfrentaram (autoavaliação, atribuição causal), a importância atribuída a esses desafios (autoavaliação, importância do conceito) e como reagiram a essas experiências (autorreação).

Por exemplo, a primeira pergunta do questionário – a saber: "*Quando o professor apresentou o problema da natureza do elétron, que desafios você identificou para entender esta discussão? Isto é, o que você considerou que precisava saber para aprender sobre a natureza dual do elétron?*" – refere-se à subfunção de auto-observação, permitindo a identificação das dificuldades que o participante projetou que precisaria superar para compreender o conceito de dualidade onda-partícula (DOP). Se um participante respondesse algo como "Eu imaginei que teria que construir uma base sólida de conceitos como partícula, onda, probabilidade, interferência, trajetória, etc., para entender melhor a dualidade do elétron", sua resposta poderia ser associada a uma categoria como, por exemplo, "Base conceitual em Física."

Por outro lado, as perguntas 2 e 3 (ver Quadro 5.2) permitiram, de forma conjunta, investigar a atribuição causal, um dos elementos autoavaliação, em que os participantes elencaram as dificuldades efetivas durante as experiências no curso. Por exemplo, quando um participante respondia algo como "Enfrentei muitos desafios em entender a estrutura, o "passo a passo" do experimento da fenda-dupla, então não consegui compreender muito bem a dualidade onda-partícula", sua resposta poderia ser incorporada uma categoria do tipo "Entender experimentos". Essa categoria representaria, então, um fator determinante nesse cenário, uma atribuição causal feita pelos participantes para determinar se conseguiram ou não compreender o conceito de dualidade onda-partícula.

### **5.2.2 Teste padronizado sobre o experimento da fenda-dupla**

O teste padronizado, aplicado no início e ao final do minicurso, foi elaborado para avaliar aspectos fundamentais do conceito de dualidade onda-partícula e do

experimento da fenda-dupla, como: (i) a indivisibilidade dos elétrons, (ii) o reconhecimento do comportamento ondulatório na ausência de informações sobre trajetória, e a ausência de interferência quando as informações sobre trajetória estão disponíveis, e (iii) a necessidade de um aparato de medição para indicar por qual fenda o elétron passou (Pessoa Junior, 2020). Os itens do teste padronizado constam no Quadro 5.3, com os respectivos aspectos da dualidade onda-partícula destacados. Outros itens compuseram o instrumento, com a finalidade de caracterização da amostra. Entretanto, nessa seção, apresentaremos apenas as questões referentes à DOP. O instrumento completo consta no Apêndice B.

Para elaborar o teste padronizado, nos baseamos na literatura sobre o ensino de Mecânica Quântica, incluindo livros didáticos (Feynman *et al.*, 2011), livros suplementares (Pessoa Junior, 2020), e artigos sobre o ensino e aprendizagem do tema (Singh, 2001; Singh e Marshman, 2015; Marshman e Singh, 2017). O consenso geral da pesquisa sobre o ensino da dualidade onda-partícula é que existem modelos mistos de conhecimento sobre o tema, nos quais os estudantes podem apresentar diferentes concepções ontológicas sobre o elétron dependendo da pergunta apresentada (Mannila *et al.*, 2001; Didis e Miller, 2019). Em outras palavras, um estudante pode afirmar que o elétron não pode ser dividido, mas ainda assim reconhecer, por exemplo, que um único elétron pode produzir um padrão de interferência no experimento da fenda-dupla.

Com base nessa revisão, identificamos diversos aspectos-chave essenciais para a compreensão do conceito de dualidade onda-partícula. Por exemplo, as questões 1, 2 e 3 exploram coletivamente o aspecto (i), onde as opções de múltipla escolha permitem considerar o elétron como uma partícula indivisível, ou como possuindo uma "natureza dual" que permite que ele "se divida", ou a impossibilidade de descrevê-lo sem um processo empírico. Por outro lado, as questões 6 e 7 investigam mais profundamente o aspecto (iii), referente ao processo de medição, avaliando as crenças dos participantes sobre se ele é um processo físico que requer interação com o objeto de estudo ou se é um ato de um ser consciente. O aspecto do comportamento dual do elétron, condicionado à disponibilidade de informações sobre sua trajetória, conforme determinado por medições, é abordado nas questões 4, 5, 8, 9 e 10.

Quadro 5.1 – Itens do teste padronizado referente ao experimento da fenda-dupla.

Item/Pergunta	Aspecto
<p>1. A fonte lançou apenas um único elétron. Qual é o padrão formado?</p> <p><input type="checkbox"/> Um padrão de interferência, semelhante ao que seria formado ao jogar um feixe de luz clássico.</p> <p><input type="checkbox"/> Um único ponto isolado no anteparo.</p> <p><input type="checkbox"/> Dois pontos, referentes a cada metade do elétron que passou em cada fenda.</p> <p><input type="checkbox"/> Impossível dizer até que de fato o elétron passe pela fenda-dupla.</p>	(i) a indivisibilidade dos elétrons
<p>2. Com relação ao elétron</p> <p><input type="checkbox"/> Ele é indivisível, sendo sempre detectado em um único ponto.</p> <p><input type="checkbox"/> Por ter natureza dual, pode se dividir, sendo detectado em dois pontos em um experimento de fenda dupla</p> <p><input type="checkbox"/> Por ser dual, pode ser detectado distribuindo ao longo do espaço como uma onda.</p> <p><input type="checkbox"/> Não podemos falar nada sobre o elétron independentemente de uma medida concreta.</p>	
<p>3. Se fizéssemos um experimento com um elétron e três fendas:</p> <p><input type="checkbox"/> Detectaríamos o elétron em três lugares distintos.</p> <p><input type="checkbox"/> Detectaríamos o elétron em um único ponto.</p> <p><input type="checkbox"/> Pode ser detectado distribuindo ao longo do espaço como uma onda.</p> <p><input type="checkbox"/> Não podemos falar nada sobre o elétron independentemente de uma medida concreta.</p>	
<p>4. Voltando ao experimento de fenda-dupla. A fonte passa a lançar um elétron por vez. Somente depois de um elétron chegar no anteparo, outro elétron é lançado. Depois de muito tempo, qual é o padrão formado?</p> <p><input type="checkbox"/> Um padrão de interferência, semelhante ao que seria formado ao jogar um feixe de luz clássico.</p> <p><input type="checkbox"/> Dois borrões compatíveis com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao número de elétrons jogados.</p> <p><input type="checkbox"/> Dois borrões compatíveis com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao dobro do número de elétrons jogados.</p> <p><input type="checkbox"/> Impossível dizer até que de fato o elétron passe pela fenda-dupla.</p>	(ii) o comportamento do elétron conforme a (não)informação sobre a trajetória
<p>5. No caso anterior, em que lançamos um elétron por vez:</p> <p><input type="checkbox"/> Conseguimos dizer em qual fenda cada elétron passou a partir do ponto em que ele incide no anteparo.</p> <p><input type="checkbox"/> Não conseguimos afirmar nada sobre qual fenda o elétron passou.</p> <p><input type="checkbox"/> Existe uma fenda para a qual há maior probabilidade de ele ter passado.</p>	
<p>6. Queremos, agora, saber por qual fenda o elétron passou no experimento de fenda dupla. Por isso, precisamos medir por qual fenda o elétron passou. Sobre esse processo, na Mecânica Quântica:</p> <p><input type="checkbox"/> Medição é o processo de uma mente que fica consciente de uma dada informação.</p> <p><input type="checkbox"/> Medida é um processo concreto, usando um aparato experimental.</p> <p><input type="checkbox"/> Ainda que se use um aparato experimental para saber por qual fenda o elétron passou, a medida só termina quando um observador consciente participa do processo.</p> <p><input type="checkbox"/> Não é possível medir por qual fenda o elétron passou.</p>	(iii) a necessidade de um aparato de medição para indicar por qual fenda o elétron passou
<p>7. Para sabermos a fenda pela qual o elétron passou</p> <p><input type="checkbox"/> É preciso interagir com o elétron, ou seja, o elétron não está mais isolado.</p> <p><input type="checkbox"/> Não é necessário interagir com o elétron, podendo observar sua posição sem nenhum tipo de alteração em seu estado.</p> <p><input type="checkbox"/> Podemos fazer a interação ser tão insignificante quanto queiramos de forma que podemos sim ter medida de posição precisa sem alterar o estado do elétron.</p> <p><input type="checkbox"/> Não é possível saber por qual fenda o elétron passou.</p>	
<p>8. Colocamos, agora, um dispositivo, perto das fendas, que emite radiação eletromagnética, e um detector de radiação. Quando o elétron passar pelas fendas, ele interage com a radiação, emitindo um sinal que pode ser detectado</p>	(ii) o comportamento do elétron

<p>e indicar por qual fenda ele passou. Para isso, precisamos usar uma radiação de pequeno comprimento de onda (garantindo a precisão da posição). Novamente, lançamos um elétron por vez, por um tempo muito grande. Nesse caso, o padrão formado no anteparo será</p> <p><input type="checkbox"/> Um padrão de interferência, semelhante ao que seria formado ao jogar um feixe de luz clássico.</p> <p><input type="checkbox"/> Dois borrões compatíveis com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao número de elétrons jogados.</p> <p><input type="checkbox"/> Dois borrões compatíveis com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao dobro do número de elétrons jogados.</p> <p><input type="checkbox"/> Impossível dizer até que de fato o elétron passe pela fenda-dupla.</p> <p><input type="checkbox"/> Não é possível saber por qual fenda o elétron passou.</p>	conforme a (não)informação sobre a trajetória
<p>9. Aumentamos o comprimento de onda da radiação do dispositivo mencionado no item anterior, até que a interação dessa radiação com o elétron seja insignificante, ou seja, na prática é como se ele não estivesse interagindo com nenhuma radiação (pois com grande comprimento de onda, a radiação momento linear desprezível):</p> <p><input type="checkbox"/> Conseguimos dizer por qual fenda cada elétron passou a partir do ponto em que ele incide no anteparo.</p> <p><input type="checkbox"/> Não conseguimos afirmar nada sobre qual fenda o elétron passou.</p> <p><input type="checkbox"/> Existe uma fenda para a qual há maior probabilidade de ele ter passado.</p>	
<p>10. No caso descrito na questão anterior, o padrão formado no anteparo é</p> <p><input type="checkbox"/> Um padrão de interferência, semelhante ao que seria formado ao jogar um feixe de luz clássico.</p> <p><input type="checkbox"/> Dois borrões compatíveis com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao número de elétrons jogados.</p> <p><input type="checkbox"/> Dois borrões compatíveis com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao dobro do número de elétrons jogados.</p> <p><input type="checkbox"/> Impossível dizer até que de fato o elétron passe pela fenda-dupla.</p>	

Esse questionário foi avaliado por três métodos distintos: validação de conteúdo, testes de confiabilidade e validação externa. A primeira etapa de validação foi conduzida para refinar as dez questões originais da pesquisa. Quatro professores universitários especializados em ensino de Física analisaram o questionário e, após correções, ele foi aplicado para dez estudantes de um curso de pós-graduação em ensino de Física da UFRGS. Os itens finais foram elaborados com base no *feedback* dos estudantes.

A segunda etapa de avaliação consistiu em um teste de confiabilidade, que avaliou a consistência interna do questionário utilizando o coeficiente alfa de Cronbach<sup>15</sup>. O teste resultou em um coeficiente  $\alpha = 0,788$  para o questionário completo (10 itens). Como o questionário foi projetado para ser objetivo, a fim de minimizar o tempo necessário para os participantes responderem, ele contém poucos itens para cada aspecto avaliado. Portanto, consideramos não adequada uma avaliação da confiabilidade de cada aspecto separadamente. Em vez disso, as

<sup>15</sup> O coeficiente de Cronbach possibilita estimar se os itens selecionados para analisar um construto estão correlacionados entre si e se, portanto, descrevem o mesmo construto. Esse valor pode variar entre zero e um, em que valores superiores à 0,7 sugerem que o conjunto de questões está correlacionado e medindo um mesmo construto (Franco *et al.*, 2024).

questões foram avaliadas coletivamente, e o valor de 0,788 é geralmente considerado aceitável para esse tipo de instrumento. Isso sugere que o conjunto de questões mede coletivamente o mesmo construto, relacionado ao conhecimento declarativo dos participantes sobre a DOP.

Por fim, a terceira etapa da avaliação foi uma validação externa. Por exemplo, uma correlação entre o desempenho no teste e o nível educacional dos participantes seria uma evidência de sua consistência. Como resultado de um teste de correlação de Spearman, encontramos uma correlação de 0,246 ( $p=0,006$ ) entre o número de respostas corretas iniciais (antes do curso) e o nível educacional categorizado em Ensino Médio, Graduação e Pós-Graduação. Embora tal correlação seja de baixa intensidade, ela demonstra que indivíduos com níveis educacionais mais elevados obtiveram melhores desempenhos no teste.

### 5.2.3 Análise de cluster

Como discutido no Capítulo 4, a análise de similitude permite apenas inferir os sentidos atribuídos aos tópicos analisados; ela não revela quais participantes atribuíram quais sentidos. Para abordar essa questão, pode-se utilizar métodos estatísticos de aproximação. No Estudo 2, realizamos uma análise de cluster utilizando o método K-means, executado no software Jamovi<sup>16</sup>. Nessa análise, participantes são alocados em uma quantidade pré-definida de (k) grupos criados a partir de variáveis selecionadas pelo usuário (Valli, 2002). Essas variáveis são elencadas numericamente, e esses grupos são gerados a partir das médias das “distâncias” entre esses valores numéricos. As variáveis selecionadas, neste caso, englobam as categorias de subfunções autorregulatórias expressas pelos participantes. A análise forma clusters com base nas subfunções que estavam estatisticamente mais interligadas, alocando automaticamente os participantes em grupos distintos.

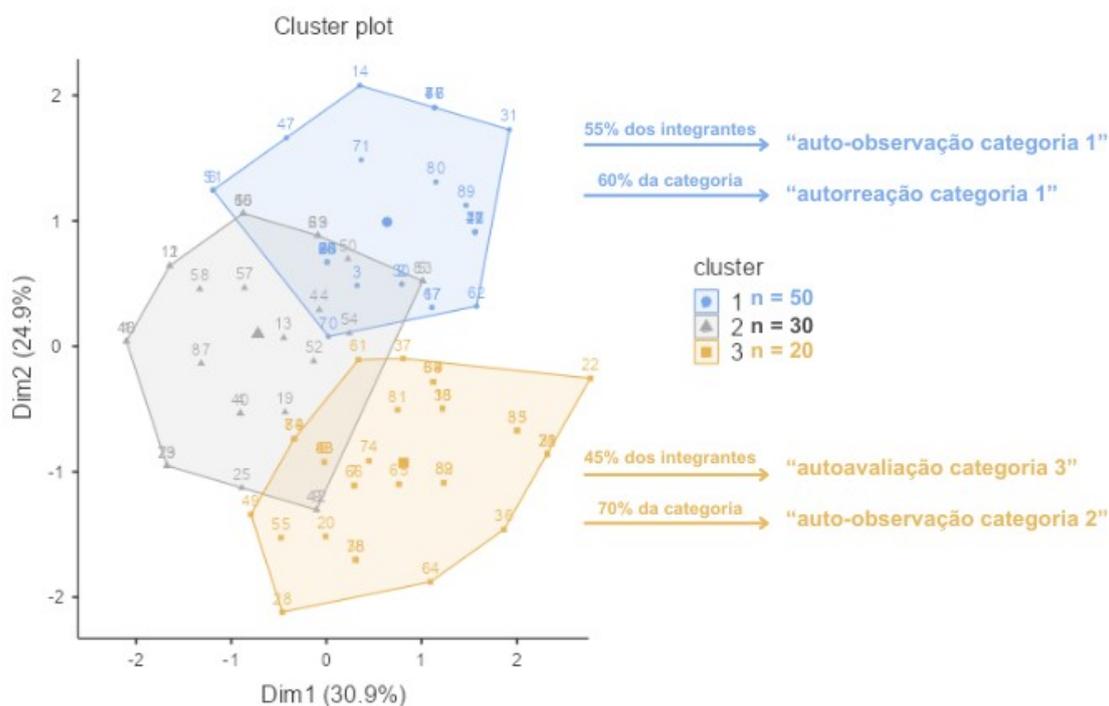
A Figura 5.2 ilustra o resultado de uma análise de cluster no Jamovi: um esquema de três clusters compostos por cem participantes. Cada número denota um participante. De modo geral, os eixos do diagrama não possuem um significado específico; porém, dois participantes em extremos opostos de um eixo tenderão a

<sup>16</sup> Software gratuito e de código aberto que realiza diversas análises estatísticas de tabelas de dados. Disponível em: <https://www.jamovi.org/>.

indicar alguma diferença. Os participantes 14 e 28 poderiam apresentar, por exemplo, autorreações diferentes.

Os grupos, entretanto, são projetados para serem heterogêneos. Assim como na análise de similitude um participante pode manifestar subfunções de ilhas distintas, dois participantes dentro de um mesmo cluster podem manifestar subfunções diferentes. Entretanto, os participantes de um mesmo cluster apresentarão, estatisticamente, algumas subfunções com maior frequência. Através de uma contagem da frequência de cada subfunção em cada cluster, é possível destacar as categorias predominantes em cada cluster, conforme indicado pelas subfunções genericamente rotuladas na figura.

Figura 5-7 – Exemplo de análise de clusters pelo método k-means, onde  $k=3$ . As variáveis estatisticamente predominantes em cada cluster, neste caso, subfunções autorregulatórias, podem ser identificadas pela sua proporção dentro ou entre os clusters.



Fonte: adaptado do software Jamovi.

Considere, por exemplo, que o Cluster 1 contenha cinquenta integrantes (50%), e os clusters 2 e 3 contenham trinta integrantes (30%) e vinte integrantes (20%), respectivamente. Então, uma categoria identificada cinquenta vezes estaria

igualmente distribuída caso fosse manifestada por vinte e cinco participantes no Cluster 1, por quinze participantes no Cluster 2 e por dez participantes no Cluster 3. Entretanto, se ela foi manifestada, por exemplo, quarenta vezes no Cluster 1, em detrimento dos outros dois grupos, significa que ela foi proporcionalmente predominante no Cluster 1. Esse raciocínio pode ser realizado considerando tanto a proporção da categoria entre os clusters, quanto da categoria dentro de um cluster particular. Como exemplificado na Figura 5.2, uma categoria será predominante ou porque a maioria dos participantes daquele cluster a manifestaram, ou porque ela esteve proporcionalmente mais presente naquele cluster em comparação aos outros.

Essa estatística descritiva – realizada no próprio Jamovi – permite avaliar se as categorias predominantes em cada cluster se alinham com as categorias das ilhas da análise de similitude. Assim, um dos objetivos da análise de clusters é corroborar a análise de similitude. Se esse alinhamento ocorrer em uma proporção razoável, pode-se entender que cada cluster está (mais) vinculado a uma ilha, estabelecendo uma conexão entre as duas análises e conferindo consistência interna entre elas. Com isso, o segundo objetivo da análise torna-se viável: identificar o cluster associado a cada participante e, conseqüentemente, o sentido que cada participante atribuiu ao tópico em questão.

Com cada participante associado a um cluster, ou seja, a um sentido, é possível explorar as associações entre esses sentidos e outras variáveis de interesse. Na seção seguinte, descrevemos os testes estatísticos conduzidos entre os sentidos atribuídos e essas variáveis.

#### **5.2.4 Testes de significância e de correlação estatística**

A pesquisa em ensino de Física frequentemente se vale do uso de testes padronizados (Liu *et al*, 2009). Apesar desse tipo de instrumento possibilitar o acesso ao conhecimento declarativo de estudantes, pesquisas apontam que um bom desempenho nesses testes não necessariamente corresponde a uma aprendizagem significativa (Herman e Golan, 1990). Nessa perspectiva, considerando o sentido como uma dimensão conotativa e subjetiva, é razoável questionar qual a relação entre o sentido e o conhecimento declarativo. Na mesma linha, apesar de ser reconhecida a proporcionalidade de alguns parâmetros com o

nível educacional de indivíduos, como as atitudes em relação à ciência e habilidades de resolução de problemas (Bates *et al.*, 2011; Balta *et al.*, 2016), é desconhecida tal conexão com dimensões conotativas da aprendizagem. Visando o segundo objetivo específico desta dissertação, e alinhado com a terceira e a quarta questão de pesquisa do Estudo 2, identificar essas relações permite delinear as características do sentido enquanto dimensão de aprendizagem conceitual.

Uma possibilidade para esse fim é de testes estatísticos para investigar relações entre os sentidos atribuídos e características individuais. Elaborados por meio de modelos matemáticos, os testes de significância atrelados aos coeficientes de correlação e aos testes de comparação entre grupos podem indicar se variáveis em um acervo de dados possuem relações específicas. Em particular, na análise bivariada, se investigam duas variáveis de interesse e, com isso, é possível inferir relações de predição ou de associação, por exemplo. Nesse estudo, utilizamos três procedimentos estatísticos, a saber, as tabelas de contingência, o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis e o coeficiente de correlação de Spearman.

Testes com tabelas de contingência são utilizados para analisar a associação entre duas variáveis categóricas, ou seja, fatores cujos valores são classificados em categorias ou grupos. A tabela de contingência organiza os dados em uma matriz, mostrando a frequência de ocorrência das combinações entre as categorias. A partir dessa tabela, é possível verificar se há uma relação significativa entre as variáveis, por exemplo, se a distribuição observada é compatível com a distribuição esperada sob a hipótese de independência (não-relação). Para isso, calcula-se um parâmetro  $p$  que varia entre zero e um. Quanto menor o valor de  $p$ , mais estatisticamente significativas foram as ocorrências constadas na tabela de contingência.

Os testes de significância são ferramentas utilizadas para avaliar se os dados de uma amostra são consistentes ou não com a hipótese não-associativa entre duas variáveis (hipótese nula), indicando um efeito ou diferença significativa entre elas. Nesse recorte, se destacam os testes paramétricos e não-paramétricos. A escolha entre esses testes depende dos pressupostos sobre os dados da amostra, como normalidade e homogeneidade de variâncias. Testes suplementares, como o teste de Shapiro-Wilk, são aplicados para verificar o parâmetro de normalidade: se os dados ou resíduos de uma amostra seguem uma distribuição normal, geralmente opta-se por testes paramétricos (como o teste  $t$  ou ANOVA). Caso contrário, testes

não-paramétricos são preferidos, pois não assumem uma distribuição específica e são mais robustos em relação a desvios da normalidade.

O teste de Kruskal-Wallis é um teste não-paramétrico de comparação de grupos, ou seja, não assume pressupostos sobre a distribuição de uma amostra de dados (Lima Junior, 2023). Ele é usado para comparar amostras independentes, indicando se existe diferença entre elas. Nesse método, os dados são ordenados em um ranking progressivo. Se houver apenas flutuações aleatórias nos dois grupos, espera-se que cada amostra se distribua homogeneamente no ranking. Entretanto, se houver uma predominância de um dos grupos nas posições bem ranqueadas, por exemplo, é provável que haja diferenças significativas em função da variável independente (Field, 2018). Similarmente às tabelas de contingência, a significância dessa diferença é medida por um parâmetro  $p$  que varia entre zero e um. O valor nulo ( $p=0$ ) indica que a hipótese nula (hipótese de não-relação) é falsa, ou seja, nos estudos realizados nesta dissertação, que existe, portanto, uma diferença significativa entre as amostras, e que essa diferença não ocorreu ao acaso. De modo geral, aceita-se um valor inferior a 5% ( $p<0,05$ ) para indicar que a diferença é estatisticamente significativa.

Os testes de correlação estatística medem a intensidade da relação entre duas variáveis. Além do parâmetro  $p$ , análogo ao teste de significância para a comparação entre grupos, a correlação estatística também é caracterizada por um fator de correlação  $r$ . O valor de  $r$  varia entre -1 e 1 e indica se a correlação é positiva ou negativa, ou seja, se variâncias de uma amostra são direta ou inversamente proporcionais a variâncias de outra.

Um alto valor positivo de  $r$  indica que duas variáveis, por exemplo,  $x$  e  $y$ , apresentaram comportamentos proporcionais. Um alto valor negativo indica o oposto. Por outro lado,  $r = 0$  indica não-correlação. O valor de  $p$ , por sua vez, indica novamente a probabilidade da hipótese nula ser verdadeira. De acordo com Lopes (2016), uma correlação é considerada fraca para valores de  $0,2 \leq |r| \leq 0,4$ , e desprezível quando  $|r| \leq 0,2$ . Por outro lado, é considerada moderada para  $|r|$  entre 0,4 e 0,6; a correlação é considerada progressivamente mais forte a partir de  $|r| > 0,6$ .

A Quadro 5.4 apresenta os testes realizados no Estudo 2. A melhora relativa do desempenho dos participantes no teste padronizado foi calculada usando a Equação 1, que representa a razão entre a diferença das pontuações finais e iniciais

e a diferença entre o número total de itens do questionário e as pontuações iniciais. Essa equação mede o quanto um participante evoluiu em relação ao seu potencial de melhora.

Equação 1 – cálculo da melhora relativa dos participantes nos testes padronizados.

$$\text{Melhora relativa} = \frac{\text{acertos finais} - \text{acertos iniciais}}{\text{total de questões} - \text{acertos iniciais}} \quad \text{Eq. 1}$$

Por exemplo, um participante que respondeu corretamente a quatro itens no teste padronizado inicial e sete no final apresentou uma melhora relativa de 50%, pois respondeu corretamente a três dos seis itens que havia errado inicialmente.

Quadro 5.1 – Variáveis contrastadas nos testes estatísticos realizados neste estudo.

Variáveis contrastadas			Objetivo dos testes
<i>Clusters</i> gerados pela análise K-means	x	Categorias das subfunções autorregulatórias identificadas dos questionários	Investigar quais processos tiveram maior influência na geração dos <i>clusters</i> .
Sentidos atribuídos pelos participantes à DOP	X	Acertos iniciais; Acertos finais e Melhora relativa no teste padronizado	Investigar se existem correlações estatisticamente significativas entre o desempenho dos participantes nos testes padronizados e os sentidos atribuídos à DOP.
Sentidos atribuídos pelos participantes à DOP	x	Área de formação; Escolaridade	Investigar se existem correlações estatisticamente significativas entre os sentidos atribuídos à DOP com parâmetros educacionais.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresentamos os resultados da categorização das subfunções autorregulatórias vinculadas às perguntas no questionário sobre autorregulação, juntamente com os sentidos da DOP derivados das análises de similitude e de cluster, e, conseqüentemente, os testes estatísticos realizados. Exploramos os aspectos mais relevantes dessas análises e fornecemos nossas interpretações dos resultados.

### 5.3.1 As subfunções autorregulatórias mobilizadas pelos participantes

As categorias elaboradas a partir da análise do questionário sobre autorregulação estão detalhadas na Quadro 5.5, com destaque para as subfunções autorregulatórias, seguidas por uma descrição sucinta de cada categoria e o número de participantes que as expressaram. As denominações de cada categoria utilizadas nos conjuntos de dados para as análises de similaridade e de agrupamento também estão incluídas (coluna 2, entre parênteses). A similaridade entre as categorias identificadas para as subfunções de auto-observação e atribuição causal (uma componente da autoavaliação) levou à sua organização sob rótulos semelhantes, conforme mostrado na Quadro 5.5. No entanto, é crucial distinguir entre projeção e retrospecção. Conforme discutido, as categorias de auto-observação se referem aos obstáculos que os participantes esperavam encontrar ao aprender o conceito de DOP, enquanto as categorias de atribuição causal representam os desafios que eles realmente enfrentaram durante o processo de aprendizagem. Dada essa correspondência nas categorias, há evidências que sugerem que os desafios que os participantes anteciparam (auto-observações) foram, de fato, os mesmos que eles experienciaram (atribuições causais) ao aprender DOP.

Quadro 5.1 – Subfunções autorregulatórias identificadas nos questionários.

SF AR	CATEGORIA	DESCRIÇÃO	Q.
AO	Entender experimentos	Para compreender a DOP, devo me aprofundar cuidadosamente no arranjo experimental da fenda-dupla.	27
	Base em Física	Para compreender a DOP, devo consolidar uma base de conceitos de Física ou revisar os que já conheço.	62
	Pensamento não clássico	Para compreender a DOP, devo me predispor a pensar além dos raciocínios da Física Clássica.	17
AA AC	Entender experimentos	Para aprender a DOP, foi fundamental compreender os possíveis arranjos do experimento da fenda-dupla, os resultados de cada um deles, e as possíveis interpretações dos fenômenos manifestados neles.	54
	Base em Física	Para aprender a DOP, foi essencial ter um conhecimento prévio em Física, como ser capaz de diferenciar entre uma onda e uma partícula.	40
	Pensamento não-clássico	Para aprender a DOP, foi essencial ser capaz de formular argumentos diferentes da Física Clássica.	19
AA IA	Não sei a importância	Eu não consegui definir a importância deste conceito; embora pareça importante, não consigo ver o motivo.	13
	Importante para a MQ	A DOP é crucial para compreender o cerne da Mecânica Quântica e sua divergência da Física Clássica.	52
	Importante para a Física	A DOP é fundamental para estabelecer uma visão abrangente da Física atual; é um conceito-chave para todo esse campo.	28
	Importante para	A DOP conceito é vital para entender a essência da	25

	a natureza	natureza; é indispensável para explicar os fenômenos que ocorrem e que transcendem o campo da modelagem científica.	
AR	Não pretendo estudar	Não tenho intenção de continuar os estudos em MQ, seja porque estou satisfeito com meu conhecimento ou porque me falta interesse.	24
	Pretendo estudar, movido(a) por sentimentos negativos	Pretendo continuar os estudos em MQ porque durante o curso senti tristeza, frustração, confusão, ansiedade, agonia, espanto, etc.	6
	Pretendo estudar no futuro, movido(a) por sentimentos positivos	Pretendo continuar os estudos em MQ num futuro próximo, com uma estratégia ainda a ser definida, pois durante o curso senti alegria, motivação, curiosidade e maior capacidade de aprender.	56
	Pretendo estudar agora, movido(a) por sentimentos positivos	Pretendo continuar imediatamente os estudos em MQ, com uma estratégia de estudo em mente, pois durante o curso, senti alegria, motivação, curiosidade e maior capacidade de aprender.	31
Legenda :	SF AR: subfunção autorregulatória AO: auto-observação AR: autorreação	CAT: categoria AA AC: autoavaliação - atribuição causal	Q: quantidade de participantes AA IA: autoavaliação – importância atribuída

As auto-observações rotuladas como "Base em Física" se referem a manifestações em que participantes projetaram a necessidade de dominar conceitos prévios de Física para compreender o DOP. Por exemplo, eles projetaram entender as distinções entre partícula e onda, bem como dominar tópicos de matemática e discussões históricas/filosóficas sobre a dualidade, como pré-requisitos essenciais. As respostas incluíam afirmações como: *"Acredito que é preciso saber o básico sobre movimento linear de uma partícula e sobre o comportamento básico de uma onda"*, *"Pensei que precisaria de maior conhecimento matemático para compreender adequadamente os conceitos"*, e *"Pensei que seria interessante uma retomada do contexto histórico; eu pensava que ou eu não me lembrava de nada sobre ou precisaria de alguns encaminhamentos para retomar o meu conhecimento"*. Da mesma forma, a atribuição causal "Base em Física" capturou casos em que os participantes confirmaram esses fatores como determinantes para entender o DOP, citando exemplos como: *"Para ser capaz de utilizar esses conceitos, [é essencial] entender com clareza o que é o elétron, que é capaz de interagir com radiação e é uma partícula indivisível; entender o que é interferência (que isso ocorre com ondas), e a diferença entre os padrões [de interferência] formados"* e *"[Foi necessário] entender o processo histórico e toda discussão por trás do conceito; entender quais questões e incoerências levaram os físicos da época a questionar o comportamento do elétron"*.

Por outro lado, as auto-observações e atribuições causais rotuladas como "Entender experimentos" estavam relacionadas à projeção ou posterior avaliação da necessidade de compreender aspectos diversos do experimento da fenda-dupla para apreender a DOP. Na categoria de auto-observação, os participantes forneceram respostas como: *"precisava saber mais sobre o funcionamento do experimento para melhor entender o fenômeno e com isso identificar as aplicações dos conceitos"* e *"Considerarei como desafio entender em quais situações o conjunto de elétrons apresentaria cada uma das características"*. Em contraste, a categoria de atribuição causal "Entender experimentos" incluiu respostas que enfatizaram determinantes como: *"O (não) conhecimento sobre o experimento da dupla fenda nas versões clássica e quântica "*, *"compreender como o experimento da dupla fenda pode ser contemplado em diferentes perspectivas, que os conceitos de onda e partícula não são concebidos de maneira isolada e que o arranjo experimental é aquilo que vai definir a característica do elétron"*, *"compreender que "interagir com o elétron" não está relacionado com a consciência do indivíduo e sim com o aparato experimental que se está utilizando"* e *"a questão probabilística, [ou seja], imaginar que um elétron por vez resulta num ponto, mas muitos elétrons, mesmo que um por vez, geram um padrão de interferência"*.

No entanto, observamos uma diferença notável entre a proporção de categorias de auto-observação e categorias de atribuição causal, indicando uma lacuna entre os desafios antecipados e aqueles reconhecidos como determinantes. Dos 62 participantes que identificaram auto-observações na categoria "Base em Física", apenas 25 posteriormente atribuíram essa projeção como um fator determinante (uma atribuição causal), enquanto 22 foram classificados sob a atribuição causal "Entender experimentos" e outros 12 sob "Pensamento não clássico". Um exemplo é um participante que inicialmente afirmou: *"Acredito que é preciso saber o básico sobre movimento linear de uma partícula e sobre o comportamento básico de uma onda"*, refletindo uma auto-observação na categoria "Base em Física". No entanto, o participante posteriormente identificou o principal desafio como *"Compreender o que significa 'interagir com o elétron', o que não está relacionado à consciência do indivíduo, mas sim ao aparato experimental utilizado. Dessa forma, é possível prever o comportamento observado"*, sugerindo uma atribuição causal de "Entender experimentos" para entender a DOP.

Ainda sobre as subfunções auto-observação e atribuição causal, foi apontado como um desafio a necessidade de evocar raciocínios que se distanciassem da física clássica ("Pensamento não clássico"). Por exemplo, os participantes que manifestaram isso como uma auto-observação, isto é, um desafio projetado a ser superado, expressaram pensamentos como: "*O principal desafio está atrelado à concepção do elétron apenas como uma partícula; é difícil compreender qual seria seu comportamento ondulatório de forma estatística*" e "*Entendi que precisava saber sobre um comportamento sem paralelo na Mecânica clássica, mas que sempre se repete da mesma forma, ou seja, que acontece*".

Por outro lado, os alunos que manifestaram isso como uma atribuição causal para a aprendizagem do DOP enfatizaram ainda mais uma ruptura emergente com a Física clássica, expressando frases como: "*Se aceitarmos que esse comportamento [dual] existe e tentarmos entendê-lo ampliando nosso conhecimento com novos conceitos, acho fácil. Se formos ortodoxos, será impossível entender [a DOP]*" e também "*A compreensão dos resultados experimentais exige abandonar certos padrões de pensamento recorrentes na análise de situações cotidianas, como afirmações contrafactuais e "supor" o realismo*". Como discutido para as outras categorias, esses pensamentos semelhantes não necessariamente se agrupam, pois pertencem a diferentes subfunções do mecanismo autorregulatório. Apenas quatro participantes manifestaram tanto o "Pensamento não clássico" como auto-observação quanto como atribuição causal. Em contraste, oito participantes que projetaram tal desafio como uma auto-observação mais tarde apontaram "Entender experimentos" como uma atribuição causal. É possível que esses participantes inicialmente identificassem o pensamento não clássico como um desafio, mas, com isso já estabelecido, questões relacionadas ao experimento se tornaram mais importantes. O oposto pode ter ocorrido para os 12 alunos que não projetaram o pensamento não clássico como um desafio, mas que enfrentaram tal aspecto como o mais impactante para o processo de aprendizagem da DOP.

Com relação à subfunção "Importância atribuída", categorizamos as respostas em níveis ascendentes de "abrangência" do conceito. Por exemplo, os participantes que apontara a DOP como "Importante para a Mecânica Quântica" expressaram ideias como "*[A DOP é de] muita importância, já que este conceito é fundamental para o restante da Mecânica Quântica*" ou "*[A DOP] é a porta de entrada para conseguirmos entender pelo menos o básico da Mecânica Quântica*". Por outro lado,

os participantes que atribuíram importância ao conceito dentro de um contexto mais amplo, na Física, afirmaram que o conceito "*Representa uma mudança de paradigma na física. Ela desafia nossa compreensão tradicional de partículas e ondas como categorias separadas*" ou que "[...] *apresenta um novo desafio para o entendimento do universo que pode trazer novas teorias muito reveladoras*". Finalmente, um grau mais elevado de importância, embora não necessariamente de sofisticação do conceito, considera a DOP como um aspecto fundamental da própria natureza, transcendendo o nível das explicações provisórias de um campo do conhecimento e constituindo genuinamente uma característica intrínseca do universo. Por exemplo, um participante comentou que a DOP "*tem grande importância, pois trata de entender a natureza da matéria, daquilo que, em última instância, nos constitui*".

Na categoria "Eu não sei a importância" estão os participantes que responderam de forma genérica à pergunta sobre a importância da DOP, com declarações como "*É muito importante!*" ou "*Extremamente relevante*". Isso dificultou o julgamento sobre a posição que os participantes estavam alocando a DOP. Alguns participantes indicaram não entender essa pergunta, o que pode ter ocorrido devido a uma leitura equivocada dos itens do questionário. No entanto, também se pode argumentar que estudantes tradicionais, em geral, não estão acostumados a elaborar reflexões sobre conceitos de Física e, por isso, acabam tendo dificuldades para responder a esse tipo de questão com mais profundidade.

Por fim, foram identificadas quatro autorreações nas respostas dos participantes, levando em conta suas perspectivas futuras de estudos sobre Mecânica Quântica, bem como as emoções que surgiram durante as atividades. Participantes que expressaram a intenção "Pretendo estudar agora, motivado por sentimentos positivos" afirmaram, por exemplo, que "[...] *o curso me motivou muito e procurarei livros sobre o assunto, além de cursar cadeiras ao longo do meu curso sobre o tópico [...] agora sou capaz de realmente entender do assunto e suas propriedades, assim facilitando o estudo de um tópico que pode ser amedrontador*". Uma intenção positiva, mas menos imediata, na categoria "Pretendo estudar no futuro, motivado por sentimentos positivos" incluiu expressões como "[...] *sinto que necessito de um pouco de revisão para retomar esse estudo, mas quando eu voltar a atuar na área da educação pretendo abordar esse tema*" e "*Já estudei o suficiente,*

*mas confesso que reacendi minha vontade de estudar. Talvez eu procure algum livro*".

Houve também participantes que não expressaram intenções de continuar seus estudos em Mecânica Quântica ("Não pretendo estudar"). Esses indivíduos expressaram principalmente sentimentos positivos sobre as experiências do minicurso, entretanto, não manifestaram um plano futuro de ação. Como exemplos, os participantes escreveram frases do tipo "*Me senti fascinado pelo fenômeno. [...] Pelo menos, me deu curiosidade e me ajudou a entender um pouco mais sobre o conceito. Por enquanto, não pretendo dar continuidade [aos meus estudos]*" e "*[Senti] felicidade ao ver um minicurso bem ministrado [...] [ele] explicou muito do que eu já "sabia" dos meus estudos. Então, foi bom no geral para esclarecer ideias e dúvidas*". Nessa categoria, uma minoria dos participantes expressou intenções de ancorar o conhecimento construído no minicurso para tarefas futuras mais elaboradas, como ensinar e pesquisar. Por exemplo, um participante expressou: "*Senti que é possível popularizar a ciência sem assustar. Poderei ajudar meus alunos a entenderem essa questão, que é de interesse para muitas pessoas*".

Por outro lado, uma minoria de participantes expressou sua intenção de estudar, mas motivada por sentimentos negativos. Por exemplo, um participante mencionou: "*Me senti inútil e muito leiga sobre o assunto. Penso na inutilidade por não ter conhecimento para dialogar com os colegas, mas isso é bom porque é o momento certo para correr atrás do conhecimento*"; outro exemplo foi um participante que afirmou sentir "*Ansiedade, [pois] parece que sei cada vez menos*".

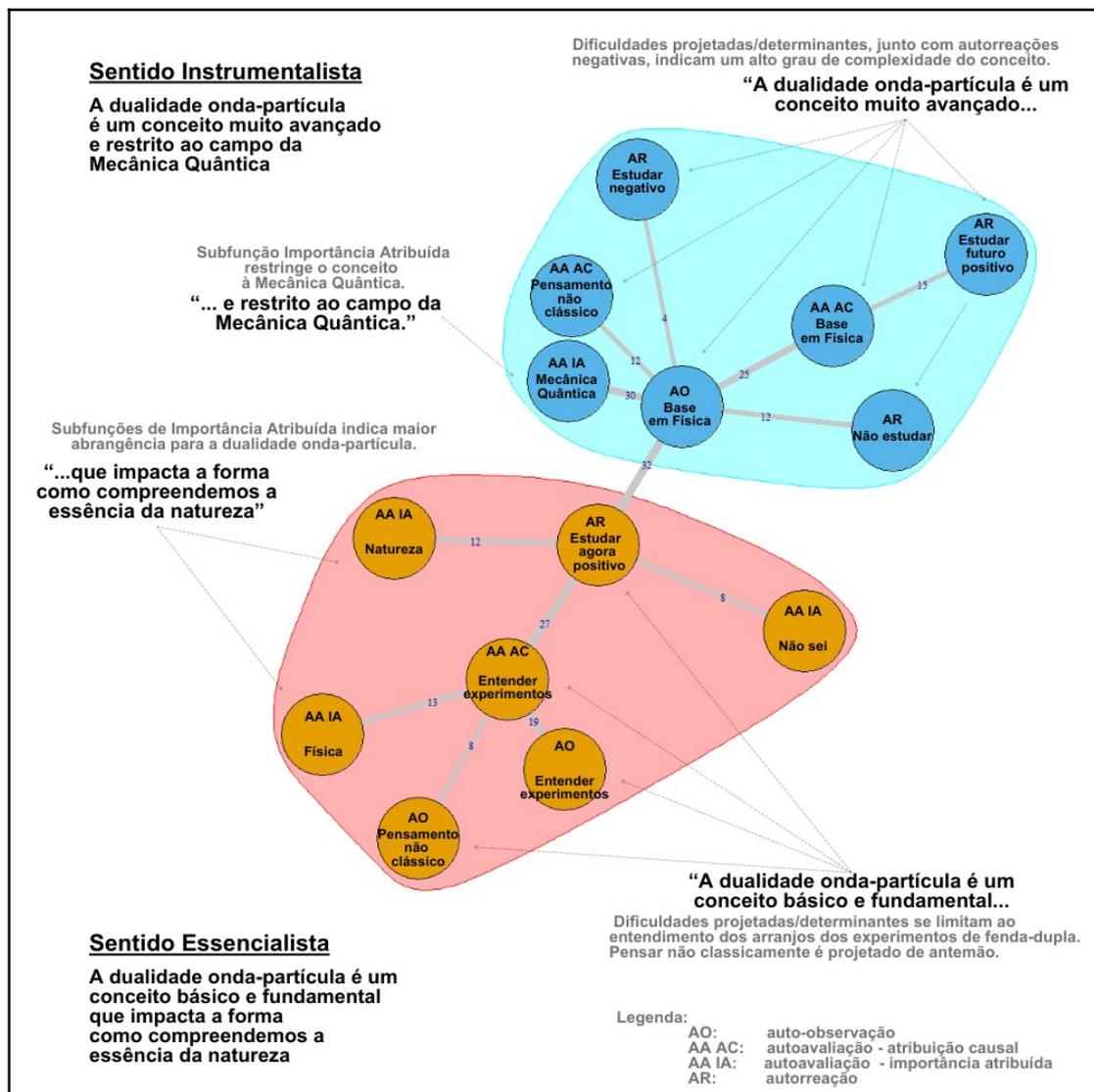
### **5.3.2 Análise de similitude: os sentidos inferidos para a dualidade onda-partícula**

A partir das categorias propostas na Seção 5.3.1 e da codificação dos participantes de acordo com essas categorias, a análise de similaridade conduzida pelo *software* IRAMUTEq<sup>17</sup>, que produziu um diagrama com duas "ilhas" de subfunções autorregulatórias, conforme ilustrado na Figura 5.3. A avaliação do diagrama gerado pelo IRAMUTEq nos possibilitou inferir pelo menos dois sentidos atribuídos à DOP, cada um associado a uma ilha. Como será discutido nos

<sup>17</sup> Software gratuito e de código aberto que realiza análises de similitude em corpus textuais, entre outras funcionalidades. Disponível em: <http://sourceforge.net/projects/iramuteq/>.

parágrafos seguintes, esses sentidos diferem nos níveis de *status* atribuídos ao DOP. Enquanto um deles confere uma conotação *essencialista* (Cruz, 2008; Santos, 2022) ao conceito, onde é percebido como algo básico, porém fundamental para entender a natureza em um nível ontológico, o outro confere uma conotação *instrumentalista* (Cruz, 2008; Santos, 2022) para a DOP, sendo um conceito mais avançado com implicações restritas à Mecânica Quântica enquanto campo científico particular. Esses diferentes níveis de status estiveram alinhados com os diferentes tipos de autorreações. Enquanto as conotações essencialistas foram associadas a sentimentos mais positivos por parte dos participantes, como admiração e motivação, o status instrumentalista esteve alinhado com expressões mais negativas, como ansiedade e desorientação. A seguir, fornecemos uma descrição mais profunda dos dois possíveis sentidos atribuídos à DOP.

Figura 5-8 – Diagrama (adaptado) gerado pelo IRAMUTEq na análise de similitude. As observações destacam as relações entre as subfunções de cada ilha, permitindo a inferência dos sentidos "Essencialista" e "Instrumentalista".



Fonte: adaptado do software IRAMUTEq.

*Sentido essencialista* (ilha vermelha) – a dualidade onda-partícula é um conceito básico e fundamental que impacta a forma como compreendemos a essência da natureza.

Neste sentido atribuído à DOP, o conceito esteve intimamente vinculado tanto a desafios projetados quanto aos desafios determinantes relacionados a compreensão dos arranjos experimentais. A auto-observação "Entender experimentos" ("AO Entender experimentos") e a atribuição causal "Entender experimentos" ("AA AC Entender experimentos") mostraram uma sobreposição

significativa, com cerca de 16% dos participantes identificando a compreensão do aparato experimental da fenda-dupla como um desafio projetado (auto-observação) e um determinante de aprendizado (atribuição causal). Além disso, a auto-observação "Pensamento não clássico" ("AO Pensamento não clássico") indicou que os participantes que atribuíram esse sentido haviam previamente projetado a necessidade de pensar de maneiras "não convencionais" para entender os experimentos e, por extensão, o conceito de DOP. Entendemos que isso destaca a influência desse conceito na interpretação de fenômenos naturais. Além disso, os participantes apontaram as importâncias "Importante para a natureza" ("AA IA Natureza") e "Importante para a física" ("AA IA Física") ao conceito, sugerindo um nível mais elevado de relevância para aqueles que expressaram esse sentido. Essa atribuição confere uma conotação essencialista à DOP, indicando que o conceito é visto como intrínseco à natureza, transcendendo o status de elemento formal da física. Por fim, a principal autorreação vinculada a esse sentido foi "Eu pretendo estudar agora, movido por sentimentos positivos" ("AR Estudar agora positivo"), implicando que os estudantes que atribuíram esse sentido ao conceito se sentiam motivados ou mais confiantes em aprender sobre física após se engajarem com ele. Com isso, a DOP pode ter sido percebida como um conceito acessível e relativamente básico dentro do quadro teórico da Física.

Os dois excertos a seguir exemplificam o cerne desse sentido. O primeiro deles, por exemplo, destaca que a DOP é fundamental para discutir a Física atual, e, por evidenciar o desenvolvimento de uma segurança do participante para avançar nos estudos sobre outros conceitos relacionados, podemos inferir que o conceito foi considerado por ele como básico para se aprender. Já o segundo excerto ressalta o impacto da DOP em novas maneiras de raciocinar para interpretar fenômenos.

*"[a DOP] É fundamental para compreender as discussões mais atuais na área da Física e também para se aproximar de um mistério tão interessante e intrigante.[...] Realmente despertou meu interesse sobre o assunto e, por meio do curso, me sinto mais seguro em estudar materiais que tratam desse tema [...] parece que me sinto mais à vontade para explorar mais conceitos em relação ao fenômeno visto e a outros fenômenos quânticos [...] foi "mindblowing"! Fiquei muito surpreso com o fato de o elétron formar um padrão de interferência mesmo sendo lançado um de cada vez".*

*"A compreensão da dualidade onda-partícula é de suma importância para compreender as interpretações que ela implica, e como isso deve ser levado em consideração quando estamos observando casos práticos.[...] Começarei pesquisando os artigos indicados ao longo do curso [...] Como uma pessoa leiga, estudar física sem acompanhamento/instruções precisas e de fácil entendimento é essencial para a compreensão do assunto. O*

*professor conseguiu transmitir parte de seu conhecimento sobre o assunto de forma bastante didática. O sentimento de surpresa me contagiou. É incrível ver como a natureza se comporta em escala quântica”.*

Ambos os excertos destacam autorreações positivas, associadas a intenção de avançar nos estudos em Física, com estratégias de estudos estipuladas, movidas por sentimentos bons de motivação, curiosidade, surpresa, confiança, etc. Além disso, ambos os trechos ressaltam a importância das situações vivenciadas durante o curso, reforçando a noção de que os sentidos atribuídos dependem das situações enfrentadas.

*Sentido instrumentalista (ilha azul)* – a dualidade onda-partícula é um conceito muito avançado e restrito ao campo da Mecânica Quântica.

Neste sentido inferido, a similitude entre as subfunções autorregulatórias permitiu identificar aspectos focados na dificuldade de compreender a DOP sem uma base de conhecimento em Física, bem como autorreações menos positivas do que as presentes no sentido anterior. Por exemplo, a auto-observação "Base em Física" ("AO Base em Física") e a atribuição causal "Base de Física" ("AA AC Base em Física") enfatizam que o desafio de aprender o conceito sem essa base foi previsto e confirmado como um dos fatores determinantes para aprendê-lo. Além disso, uma segunda atribuição causal, associada ao "Pensamento não clássico" ("AA AC Pensamento não clássico"), indica que os participantes que atribuíram esse sentido não projetaram esse desafio (ou seja, não era uma auto-observação), mas ele se apresentou como uma dificuldade a ser superada na construção de um sentido para a DOP. Isso pode sugerir que, para aqueles participantes que possivelmente atribuíram esse sentido, existe um grau mais elevado de dificuldade associado ao conceito e, portanto, trata-se de um constructo avançado.

Entendemos que, por essa razão, a maior importância atribuída a esse conceito, nesse sentido, foi "Importante para a Mecânica Quântica" ("AA IA Mecânica Quântica"), uma vez que um conceito avançado costuma se restringir a um ramo particular da Física, em vez de atuar como um conceito "transcendental". Sob essa perspectiva, o conceito assume um status instrumentalista, onde a DOP é "útil" para resolver problemas no campo da Mecânica Quântica. Destacamos que as autorreações de "Eu não pretendo estudar" ("AR Não estudar") e "Eu pretendo estudar, movido(a) por sentimentos negativos" ("AR Estudar negativo"), embora

periféricas, foram associadas a esse sentido e reforçam a ideia de que a DOP é percebida como um conceito avançado e possivelmente intimidador. A autorreação "Eu pretendo estudar no futuro, movido(a) por sentimentos positivos" ("AR Estudar futuro positivo") também se alinha a essa perspectiva, pois uma possível base de conhecimento em Física seria necessária para aprender a DOP, tornando esse conceito acessível apenas aos participantes no futuro.

Por exemplo, os dois trechos a seguir destacam que a DOP tinha uma importância mais limitada ao contexto da Mecânica Quântica, além de sublinhar a dificuldade dos indivíduos que atribuíram esse sentido à DOP em compreender o conceito (e o experimento da fenda-dupla) sem uma base conceitual prévia. Isso é refletido nos sentimentos menos positivos expressos nos trechos e nas autorreações menos enérgicas em relação à continuidade dos estudos, uma característica presente no sentido essencialista.

*"[O conceito] é razoavelmente importante [...] a dualidade onda-partícula não é fundamental para a compreensão da teoria, mas mesmo assim é um experimento fascinante. Me senti instigado, mas também um pouco perdido. Os aspectos históricos da natureza do elétron, [...] os cientistas e experimentos citados eu não conheço bem, então fiquei meio perdido [...] as definições teóricas me confundiram um pouco. Os termos complicados também. Não tenho intenção em seguir na área de Física, então minhas experiências no curso servem apenas para despertar mais interesse".*

*"[A DOP tem] muita importância, já que este conceito é fundamental para o restante da Mecânica Quântica. [...] [Uma dificuldade foi que] o comportamento quando houve a medição com radiação não era o que eu esperava, acreditei que teria o mesmo comportamento probabilístico de interferência na posição [...] [também] entender que o experimento que define o comportamento, ou seja, a interação com o elétron e não um ser consciente realizando a medida experimental. Pretendo continuar os estudos em livros e artigos. Agora com um olhar mais crítico e uma definição sólida do conceito de dualidade. [...] [Tive sentimentos de] espanto e reflexão".*

É importante destacar que, apesar de as subfunções de auto-observação "Base em Física" ("AO Base em Física") e a autorreação "Eu pretendo estudar agora, movido(a) por sentimentos positivos" ("AR Estudar agora positivo") pertencerem a ilhas distintas, a co-ocorrência mais significativa ocorreu

precisamente entre elas, criando uma "ponte de conexão" entre as duas ilhas da análise de similitude. Isso implica que essas duas subfunções não são exclusivas de um único sentido e foram manifestadas por participantes de ambos os sentidos atribuídos, em proporções razoavelmente equivalentes. A interpretação da DOP pelos participantes tende a ser caracterizada por outras subfunções, possivelmente as periféricas, que impactam na conotação atribuída ao conceito. Como discutido, os dois sentidos inferidos puderam ser diferenciados pelas conotações essencialistas ou instrumentalistas (Santos, 2022) atribuídas ao conceito. No sentido essencialista, a DOP foi atrelada à essência da natureza, enquanto no sentido instrumentalista, o conceito foi visto mais como um construto restrito a Mecânica Quântica.

No entanto, vale ressaltar que o status conotativo do conceito não foi o único fator que diferenciou esses sentidos inferidos. Participantes que expressaram um sentido essencialista predominantemente expressaram sentimentos positivos, enquanto as atribuições instrumentalistas frequentemente se relacionaram com emoções mais negativas. Em outras palavras, a autorreação foi subfunção impactante na caracterização dos sentidos inferidos. Como será discutido em seções posteriores, na análise de clusters, por exemplo, essa subfunção foi, de fato, o fator predominante. Dessa forma, o esboço de reações, sentimentos e planos de ação apresenta-se como uma dimensão relacionada à designação de conotações a um conceito, apesar de não consideramos possível, por ora, determinar se esta associação se trata de uma relação causal.

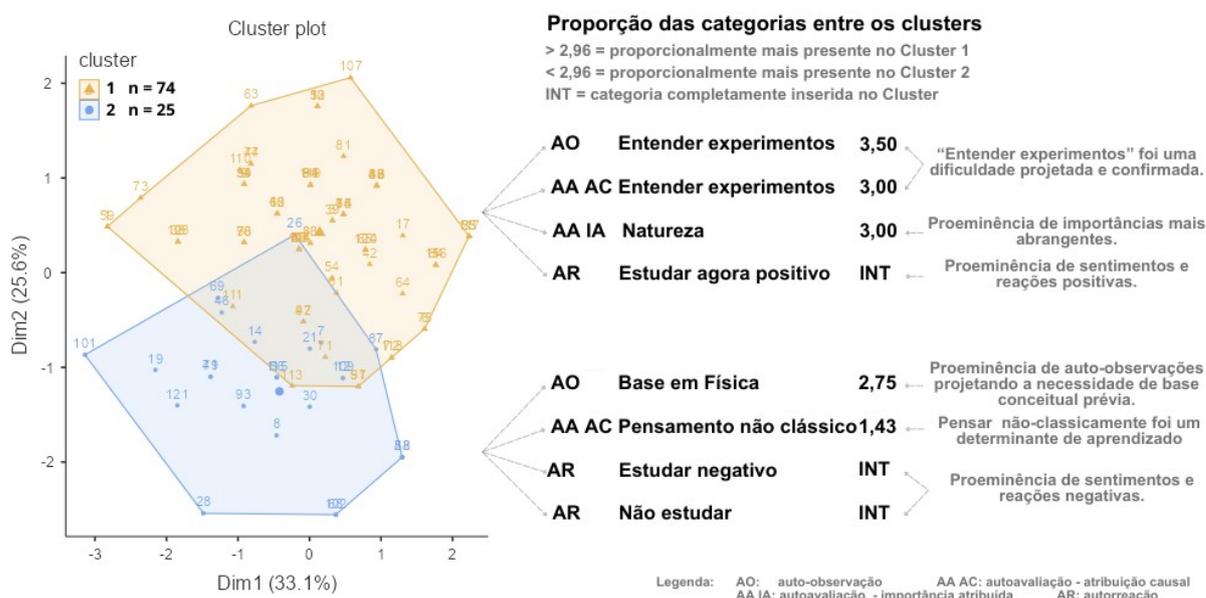
Embora não tenha sido intencional neste estudo, é concebível que esse resultado possa estar relacionado às crenças de autoeficácia dos participantes. A autoeficácia influencia significativamente como os indivíduos se envolvem emocionalmente em uma atividade (Dowd *et al.*, 2015) e, conseqüentemente, como se apropriam de um determinado assunto. Além disso, como demonstraram Mason e Singh (2016), estudantes ingressantes geralmente consideram o conteúdo de Física como um "conjunto interconectado de conceitos" ou como uma "coleção de fatos não relacionados" a serem aplicados no modo "*plug-and-chug*". Essas atitudes divergentes também impactam no engajamento dos alunos nas aulas de Física, sugerindo possíveis ligações entre essas atitudes contrastantes e os sentidos inferidos para a DOP. A visão da Física como uma "coleção de fatos não relacionados" alinha-se à conotação instrumental da DOP, enquanto a percepção da Física como um "conjunto interconectado de conceitos" ressoa com os fortes

sentimentos positivos expressos no sentido essencialista. Dadas essas considerações, é plausível que esse público específico, em grande parte composto por participantes “automotivados”, tenha sido influenciado por esses fatores, o que pode explicar a prevalência de sentimentos positivos e um sentido essencialista atribuído à DOP.

### 5.3.3 Análise de cluster: distribuição de participantes entre os sentidos inferidos

Nós também correlacionamos as categorias das quatro subfunções autorregulatórias manifestadas pelos participantes por meio de uma análise de cluster. Dado que a análise de similitude produziu duas ilhas distintas, inferimos dois sentidos potenciais que poderiam ser atribuídos ao conceito de DOP. Em seguida, compelimos o método k-means a gerar dois clusters (k=2), visando vincular cada cluster a um sentido (ilha). Para alcançar isso, avaliamos a proporção das subfunções manifestadas em relação à proporção de membros em cada cluster, conforme mostrado na Tabela 5.1. Os resultados da análise de cluster são apresentados na Figura 5.4.

Figura 5-9 – Clusters gerados pela análise do software Jamovi. Cada número no diagrama representa um participante alocado dentro de um cluster. As subfunções destacadas são mais proeminentes nos respectivos clusters.



Fonte: adaptado do software Jamovi.

Como consta na Tabela 5.1, a razão de membros entre o Cluster 1 (n=74) e o Cluster 2 (n=25) foi de 2,96. Analisar a proporção de cada subfunção nos clusters nos permite avaliar se ela estava mais proeminente em um cluster em comparação ao outro, explorando assim as relações diretas entre os clusters desta análise e as ilhas identificadas na análise de similitude. Por exemplo, na subfunção de auto-observação, as categorias "Entender experimentos" e "Pensamento não clássico" apresentaram proporções de 3,50 e 3,67, respectivamente. Isso indica que elas foram mais proeminentes no Cluster 1, sugerindo uma conexão com a ilha vermelha (sentido essencialista) identificada na análise de similitude. Por outro lado, a atribuição causal "Pensamento não clássico", com quociente de 1,43, esteve proporcionalmente mais presente no Cluster 2, indicando um potencial vínculo com a ilha azul (sentido instrumentalista) da análise de similitude.

A Figura 5.4 destaca as principais subfunções constituintes de cada cluster. As categorias dominantes no Cluster 1 correspondem a um perfil autorregulatório localizado dentro da ilha vermelha (sentido essencialista) na Figura 5.3. De forma semelhante, as categorias destacadas no Cluster 2 estão contidas dentro da ilha azul, correspondente ao sentido instrumentalista. No geral, identificamos que onze das quatorze proporções de categorias estavam alinhadas com as subfunções que constituem as ilhas na análise de similitude. As exceções foram as categorias "Importante para a Física", "Pretendo estudar no futuro, movido(a) por sentimentos positivos" e a atribuição causal "Base em Física". É importante notar que essas duas últimas categorias estavam fortemente interconectadas na análise de similitude com a auto-observação "Base em Física", que, como discutido, simbolizou uma "ponte de conexão" entre as ilhas. Em outras palavras, essa forte "linha de co-ocorrência" atenua a não correspondência dessas subfunções entre as análises. Além disso, reforça a ideia de um "espaço comum" entre os sentidos, tópico explorado na Seção 5.3.2.

Tabela 5.1 – Proporção das subfunções entre os clusters.

SF AR	Categorias	Cluster 1 (laranja) N=74 part.	Cluster 2 (azul) N=25 part.	Proporção 74/25 = 2,96
AO	Entender experimentos	21	6	3,50
	Base em física	42	16	2,62

	Pensamento não clássico	11	3	3,67
<b>AA</b>	Entender experimentos	36	12	3,00
<b>AC</b>	Base em física	28	6	4,67
	Pensamento não clássico	10	7	1,43
<b>AA</b>	Não sei a importância	9	2	4,50
<b>IC</b>	Importante para a MQ	33	12	2,75
	Importante para a Física	14	5	2,80
	Importante para a natureza	18	6	3,00
<b>AR</b>	Não pretendo estudar	0	20	--
	Pretendo estudar, movida(o) por sentimentos ne- gativos.	0	5	--
	Pretendo estudar no futuro, movida(o) por sentimentos positivos.	50	0	--
	Pretendo estudar agora, movida(o) por sentimentos positivos	24	0	--

Legenda: SF AR: subfunção autorregulatória N: número de participantes  
 AO: auto-observação AA AC: autoavaliação - atribuição causal  
 AR: autorreação AA IA: autoavaliação – importância atribuída

Com esta análise, estabelecemos uma relação entre o Cluster 1 (n=74) e o sentido essencialista, e o Cluster 2 (n=25) e o sentido instrumentalista. Dessa forma, cada participante foi vinculado a um sentido atribuído a DOP. Houveram 22 participantes que não foram alocados nos clusters, devido à pelo menos uma resposta inconclusiva não ter sido categorizada em uma subfunção (o método k-means descarta participantes com fichas incompletas).

Para determinar o potencial sentido atribuído por esses participantes, caracterizamos os clusters com informações adicionais. Inicialmente, construímos tabelas de contingência entre as subfunções autorregulatórias e os clusters. Identificamos diferenças estatisticamente significativas entre os clusters e a subfunção de autorreação em um nível  $p < 0,001$ . Em outras palavras, isso sugere que a distribuição das autorreações entre os clusters não foi aleatória e desempenhou um papel significativo na formação dos clusters, como observado na

análise de similitude. Assim, a inferência sobre qual sentido provavelmente foi atribuído por esses participantes foi reavaliada com ênfase nas suas autorreações.

Também realizamos o teste de Kruskal-Wallis avaliando a melhora relativa dos participantes no teste padronizado em função dos clusters, obtendo uma diferença estatisticamente significativa no nível  $p = 0,061$ . Assim, utilizamos esse fator como último recurso para determinar o cluster dos participantes restantes. Utilizando esses dados, chegamos à distribuição final de 85 (oitenta e cinco) participantes associados ao sentido essencialista e 33 (trinta e três) participantes vinculados ao sentido instrumentalista. A partir disso, então, realizamos testes estatísticos para avaliar as relações desses sentidos atribuídos ao conceito de DOP com outros parâmetros.

#### **5.3.4 Testes estatísticos: caracterizando o sentido como dimensão da aprendizagem conceitual**

Os testes de Kruskal-Wallis revelaram diferenças estatisticamente significativas entre os sentidos atribuídos pelos 118 participantes e seus desempenhos inicial e final – e, portanto, com sua melhoria relativa (ver Equação 1) – no teste padronizado.<sup>18</sup> As diferenças estatísticas foram  $p=0,073$  para as pontuações iniciais,  $p=0,004$  para as pontuações finais e  $p=0,011$  para a melhoria relativa dos participantes. Esses valores sugerem que o desempenho dos participantes apresentou conexão com os sentidos que atribuíam à DOP, particularmente após as atividades do minicurso.

Considerando o desempenho médio dos participantes antes e depois do curso, conforme indicado na Tabela 5.2, observamos que ambos os grupos mostraram uma melhora relativa de desempenho significativa, porém os participantes associados ao sentido essencialista exibiram desempenho levemente superior. Nessa perspectiva, os testes de correlação de Spearman indicaram que a melhora relativa e as pontuações finais estiveram fracamente correlacionadas com os sentidos, enquanto a performance inicial sequer apresentou correlação. Em relação à pontuação final, identificamos uma correlação de  $r=0,26$  no nível de

<sup>18</sup> O teste de Shapiro-Wilk indicou a não normalidade dos dados sobre desempenho inicial, desempenho final e melhora relativa. Dessa forma, optou-se pelo uso de testes não-paramétricos nos testes de significância subsequentes.

$p=0,004$ , enquanto a melhoria relativa teve uma correlação de  $r=0,26$  no nível de  $p=0,010$ .

Considerando, ainda, a diferença modesta na melhora dos participantes em função dos sentidos (17%, ver Tabela 5.2), inferimos que o sentido atribuído à DOP pelos participantes não explica completamente seu desempenho em testes padronizados, e vice-versa. Em outras palavras, houve uma sobreposição entre sentido e desempenho no aprendizado da DOP, no entanto, foi uma sobreposição parcial, sugerindo que não se pode inferir completamente um construto a partir do outro. Isso sugere que esses elementos pertencem a duas dimensões distintas da aprendizagem conceitual. Sob essa perspectiva, é crucial que ambas as dimensões sejam analisadas durante a avaliação do aprendizado de um conceito.

Tabela 5.1 – Desempenho e melhora dos participantes no teste padronizado em função dos sentidos atribuídos.

Sentido atribuído	Acertos iniciais	Acertos finais	Melhora relativa
<b>Essencialista</b>	4.68 ± 2.29	8.42 ± 1.95	72% ± 31%
<b>Instrumentalista</b>	3.94 ± 2.11	7.12 ± 2.50	55% ± 34%

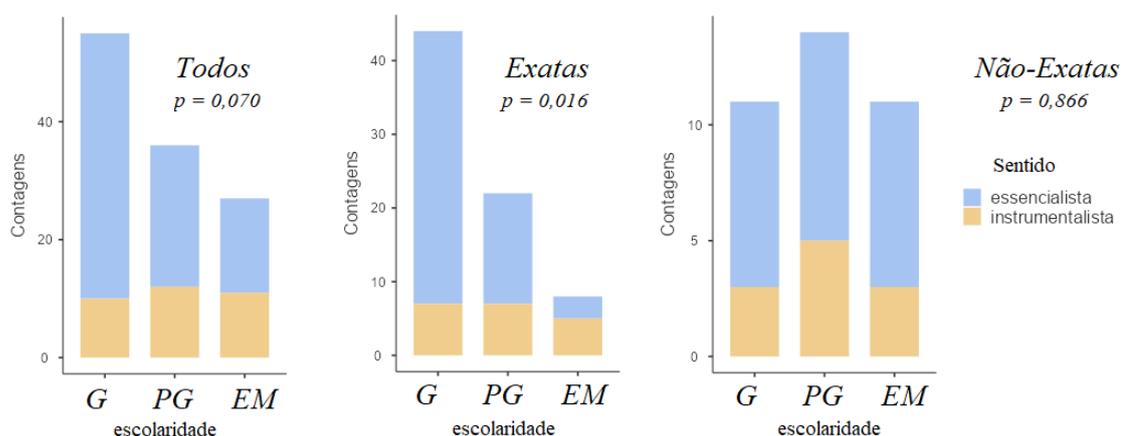
Também investigamos distinções entre os sentidos atribuídos à DOP em função da área de formação e do nível educacional. Conseqüentemente, avaliamos se os sentidos atribuídos dependiam, em certo nível, da familiaridade dos participantes com tópicos do campo da Física ou das Ciências Exatas. Categorizamos os participantes em três níveis de formação acadêmica: i. Ciências Exatas (Física, Química, Engenharia, Matemática, etc.); ii. Ciências Não-Exatas (Filosofia, Medicina, História, etc.); e iii. Educação Básica. Além disso, classificamos os participantes em três níveis de escolaridade: i. Ensino Médio; ii. Graduação; e iii. Pós-graduação.

Os testes de contingência indicaram que sentidos atribuídos ao conceito de DOP não estiveram estatisticamente correlacionados com a área de formação, retornado um valor de  $p = 0,729$ . Entendemos isso como indicativo de que tanto pessoas estudantes de exatas quanto das não-exatas podem atribuir conotações similares para a DOP. Entretanto, diferenças estatisticamente significativas ao nível de 7% foram identificadas entre o sentido atribuído em função dos grupos de participantes com distintos níveis de escolaridade ( $p = 0,070$ ). Essa diferença, ainda

que significativa a um nível maior do que 5%, nos instigou a investigar relações entre escolaridade e sentido para cada uma das áreas (Exatas, Não-exatas e Ensino Médio).

Encontramos valores significativos apenas para os participantes das Exatas, onde constatamos na tabela de contingência deste grupo um valor de  $p = 0,016$  quando analisamos os sentidos em função do nível de escolaridade. Dentro desse grupo, os estudantes da categoria Graduação manifestaram em maior proporção o sentido essencialista, em comparação com estudantes da Pós-Graduação ou com Ensino Médio completo. Conforme consta na Figura 5.5, este resultado impactou o resultado geral da relação dos sentidos com a escolaridade do público geral.

Figura 5-10 – Quantidade de participantes que manifestaram os sentidos essencialista ou instrumentalista em função do nível de escolaridade e da área de formação.



Fonte: adaptado do software Jamovi.

Se, por um lado, não identificamos relações estatisticamente significativas entre os sentidos e a área de formação na amostra total, por outro, identificamos que participantes graduantes em Física manifestaram em maior proporção conotações essencialistas para a DOP. Esse foi um resultado inesperado, e não dispomos de argumentos para explicar essa informação a partir do aparelho teórico-metodológico do Estudo 2.

#### 5.4 CONCLUSÕES

No Estudo 2, iniciamos a discussão de que o sentido atribuído a um conceito é um elemento importante da aprendizagem conceitual, incorporando tanto

componentes conotativos quanto subjetivos que moldam as percepções dos estudantes sobre os conceitos. Examinamos especificamente os sentidos atribuídos ao conceito de dualidade onda-partícula, basilar na Mecânica Quântica, área onde os estudantes frequentemente enfrentam consideráveis desafios de aprendizagem (Singh e Marshman, 2015; Lima *et al.*, 2020; Carvalho *et al.*, 2023). Esses sentidos foram analisados durante um minicurso de divulgação científica de cinco horas de duração, com a participação de um grupo heterogêneo de mais de 200 indivíduos. Empregamos uma abordagem fenomenológica (Pereira *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2017) para o experimento da dupla fenda, um experimento que tende a evocar noções ambíguas entrelaçadas com interpretações equivocadas entre o público geral. Consideramos o processo de construção de sentido como uma atividade autorregulatória no enfrentamento de uma situação, alinhado as perspectivas de Franco *et al.* (2024) e Bandura *et al.* (2008). Um questionário foi desenvolvido e aplicado para categorizar as subfunções autorregulatórias mobilizadas pelos participantes. Com base nessas categorias, uma análise de similitude levou à identificação de dois sentidos para o conceito de DOP: um sentido articulava uma perspectiva essencialista (Cruz, 2008; Santos, 2022), retratando o conceito como básico e fundamental para a compreensão da natureza. Por outro lado, o outro sentido transmite uma conotação instrumentalista (Cruz, 2008; Santos, 2022), considerando a DOP como um tópico avançado e restrito à Mecânica Quântica. Realizamos uma análise de cluster para vincular cada participante a um sentido particular, obtendo uma proporção de 85 participantes atribuindo o sentido essencialista e 33 atribuindo o sentido instrumentalista. Por fim, investigamos correlações estatísticas entre esses sentidos inferidos e o desempenho dos participantes em um teste padronizado sobre a dualidade onda-partícula, bem como seus níveis acadêmicos, para caracterizar o sentido como uma dimensão da aprendizagem conceitual.

Primeiramente, destacamos a importância do minicurso para a divulgação científica de tópicos da Mecânica Quântica, com o objetivo de desmistificar essa área do conhecimento. Por meio de uma abordagem metódica, porém técnica, discutimos e elucidamos seus princípios centrais. Certas expressões forneceram indicações de que um tratamento cuidadosamente “didatizado” de assuntos relacionados a esse campo pode, de fato, ser disseminado com alta qualidade,

evitando desinformação sobre o tema. Abaixo, apresentamos alguns exemplos de expressões dos participantes que se alinham com essa noção:

*“Provavelmente minha explicação não será tão boa quanto a do professor, mas já me sinto mais preparada pra falar com meus alunos sobre e desvendar alguns misticismos.”*

*“Compreendendo tal fenômeno, posso entender porque o elétron se comporta como visto nos experimentos e porque tantos conceitos relacionados à física quântica são propagados de forma errônea na internet.”*

*“[...] acredito que a compreensão da dualidade onda-partícula é fundamental tanto para professores quanto alunos, uma vez que possibilita um maior entendimento da natureza quântica e, conseqüentemente, uma maior segurança para questionar informações suspeitas sobre essa área disseminadas nas redes sociais. Em outras palavras, um professor que é capaz de apresentar de maneira satisfatória esse fenômeno para o ensino médio, faz com que os alunos compreendam melhor a mecânica quântica, não acreditando em tudo que encontram na internet, criando assim uma sociedade cientificamente mais alfabetizada.”*

Além disso, a melhora de todos os grupos de participantes no teste padronizado (e.g., Tabela 5.2) é uma evidência de quão impactante pode ser uma intervenção curta, porém bem estruturada. Portanto, esse formato de divulgação científica se apresenta como uma estratégia viável para o desenvolvimento de conhecimento declarativo sobre conceitos de Física para públicos “automotivados”. É oportuno investir em mais pesquisas sobre esse formato em contextos distintos, uma vez que obtemos evidências de que ele pode ser utilizado para disseminar conhecimento científico para pessoas não acadêmicas em curtos períodos de tempo. No entanto, não podemos generalizar essa conclusão para outras dimensões da aprendizagem, pois não sabemos se esse formato fornece um ambiente adequado para a apreensão de habilidades de resolução de problemas ou habilidades procedimentais, por exemplo. Além disso, como mencionado, o público desse estudo foi composto por participantes predispostos a engajar no assunto. Não é possível concluir que os resultados seriam os mesmos em outros contextos, especialmente em aulas formais de Física.

Em relação à primeira questão de pesquisa (Quais os sentidos atribuídos ao conceito de dualidade onda-partícula num minicurso de divulgação científica sobre o experimento da fenda-dupla?), identificamos dois sentidos atribuídos ao conceito de dualidade onda-partícula, derivados das experiências dos participantes durante os dois dias de minicurso. Esses sentidos podem ser resumidos nas seguintes afirmações: 1) a dualidade onda-partícula é um conceito básico e fundamental que impacta a forma como compreendemos a essência da natureza, e 2) a dualidade onda-partícula é um conceito muito avançado e restrito ao campo da Mecânica Quântica. Esses sentidos divergiram, entre outros fatores, quanto à importância que atribuíram, o que é uma característica crucial da dimensão conotativa do conceito. O primeiro sentido exibiu um caráter essencialista, posicionando a dualidade onda-partícula como um conceito chave para a compreensão da natureza, enquanto o segundo sentido, com sua conotação instrumentalista, restringiu o conceito ao âmbito da Mecânica Quântica. Sob essa perspectiva, o sentido essencialista esteve mais associado à autorreações positivas dos participantes, indicando maiores expectativas de continuar estudando Mecânica Quântica, em comparação com autorreações mais negativas dos participantes que atribuíram um sentido instrumentalista. Esses sentidos também se relacionam com atitudes conhecidas de estudantes ingressantes em relação ao conhecimento de Física, conforme discutido por Mason e Singh (2016). O sentido essencialista suscitou sentimentos mais positivos, semelhante à visão de que o conhecimento de Física é um "conjunto interconectado de conceitos". Por outro lado, o sentido instrumentalista alinha-se com a noção de que a Física é uma "coleção de fatos não relacionados", à medida que restringe a DOP principalmente ao contexto da Mecânica Quântica.

Sobre a segunda questão de pesquisa (Em que medida a autorregulação permite identificar os sentidos atribuídos a um conceito de Física?), consideramos que a análise por meio da autorregulação como processo teórico-metodológico foi fundamental para deduzir os possíveis sentidos atribuídos à DOP. A categorização das subfunções autorregulatórias, derivada das respostas ao questionário, facilitou o estabelecimento de conexões nas redações dos participantes e permitiu delinear conotações associadas ao conceito.

Foi notável a sinergia entre as subfunções de auto-observação e autoavaliação, permitindo um contraste entre as projeções dos participantes sobre as dificuldades e aquelas que se apresentaram de fato como desafios a serem

superados na compreensão do conceito. Essa fase é crucial para a formação de uma compreensão dos obstáculos que os estudantes podem encontrar ao aprender este e outros conceitos no ensino de Física. Por sua vez, as autorreações dos participantes foram, em muitos casos, o fator determinante para deduzir o sentido atribuído; os sentimentos dos participantes sobre seus em relação às experiências do curso (negativas ou positivas), bem como suas intenções de continuar estudando ou não, impactaram significativamente a avaliação de se eles consideravam a DOP um conceito básico e de fácil acesso, ou um conceito avançado e menos acessível sem uma base conceitual em Física.

Além disso, a análise de similitude auxiliou para formular enunciados gerais que caracterizaram esses diferentes posicionamentos. Esses enunciados provavelmente não seriam acessíveis por meio de questionamentos diretos e/ou objetivos. Dito isso, consideramos a exploração das subfunções autorregulatórias como uma valiosa estratégia teórico-metodológica para avaliar a aprendizagem de conceitos, especialmente o processo de atribuição de sentido. Defendemos mais pesquisas baseadas nas subfunções autorregulatórias para avaliar os sentidos atribuídos a outros conceitos de Física e investigar as relações desses sentidos com outros parâmetros de interesse.

Referente à terceira questão de pesquisa (Nesse contexto, existe uma correlação entre o sentido atribuído a dualidade onda-partícula e a performance dos participantes em um teste padronizado sobre o experimento da fenda-dupla?), identificamos diferenças estatisticamente significativas na relação entre os sentidos atribuídos ao conceito de DOP e o desempenho dos participantes no teste padronizado sobre o experimento da fenda-dupla, tanto antes quanto após o minicurso. Aqueles que atribuíram um sentido essencialista, com autorreações mais positivas, exibiram uma maior melhora relativa (72%) do que aqueles que atribuíram um sentido instrumentalista, com autorreações mais negativas (55%), apesar de ambos mostrarem uma melhora de desempenho estatisticamente significativa. Portanto, é plausível afirmar que, neste contexto de pesquisa, existe uma certa relação entre os sentidos e o desempenho. Entretanto, considerando as correlações de baixa intensidade identificadas nos testes de Spearman, bem como a proximidade entre a melhora relativa dos dois grupos de sentidos (17%), concluímos que, apesar de o sentido de um conceito e o desempenho em testes padronizados se sobreporem parcialmente, esses dois fatores são dimensões distintas da

aprendizagem que, embora relacionadas, devem ser analisadas separadamente. Assim, compreendemos que o Estudo 2 evidencia empiricamente que o sentido atribuído a um conceito é uma dimensão da aprendizagem conceitual não mensurável por testes de desempenho, pois abrange questões conotativas e a atribuição de valor ao conhecimento que não são plenamente identificadas em perguntas objetivas.

Por fim, a resposta à quarta questão de pesquisa (Existe uma correlação entre o sentido atribuído a dualidade onda-partícula e o nível educacional dos participantes?) revelou que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os sentidos atribuídos à DOP e a área de formação dos participantes. Sob essa perspectiva, consideramos as situações do minicurso importantes para a construção dos sentidos atribuídos à DOP. Somado a isso, um estudo auxiliar indicou que não houveram correlações estatísticas entre o desempenho e área de estudo neste contexto (Lima *et al.*, 2024). Isso permite especular que o sentido atribuído, com base nas experiências do curso, tenha tido maior relevância para o desempenho dos participantes do que seus graus de escolaridade.

Por outro lado, identificamos diferenças estatisticamente significativas dentro do grupo de participantes das Exatas. Em particular, estudantes do nível de graduação manifestaram em maior proporção o sentido essencialista, ao passo que esse sentido foi manifestado em proporção equivalente para o grupo das Não-exatas (vide Figura 5.5). Esse foi um resultado inesperado que demanda maior investigação.

É importante reconhecer que há um grau de subjetividade envolvido na determinação dos sentidos atribuídos à dualidade onda-partícula. O desenvolvimento de um questionário sobre autorregulação (questionário sobre autorregulação), baseado em perguntas discursivas relacionadas à aprendizagem de conceitos de Física, foi um processo novo e único que carecia de validação externa, em contraste com o teste padronizado. Mais especificamente, optamos por criar um número limitado de categorias para cada subfunção autorregulatória e elaborá-las para destacar semelhanças e possíveis conexões, como ilustrado nas categorias de auto-observações e atribuições causais no Quadro 5.5. A análise de similitude é particularmente sensível a esse processo. Embora uma categorização mais ampla pudesse resultar em clusters mais localizados, tal expansão poderia carecer de um significado geral para os perfis de atividade autorregulatória. A

conexão entre os sentidos inferidos com resultados destacados na literatura prévia (Cruz, 2008; Mason e Singh, 2016; Santos, 2022) é um fator que corrobora os resultados deste estudo.

### 5.5 IMPLICAÇÕES PARA O ESTUDO 3

Os sentidos inferidos no Estudo 2 são generalizáveis na medida em que são representações prototípicas de duas conotações distintas. Essa diferenciação foi crucial para fornecer uma visão abrangente e, mais especificamente, para viabilizar a investigação de correlações estatísticas. No entanto, como sugerido pelas análises das figuras 5.3 e 5.4, consideramos razoável a existência de um "espaço comum" entre os sentidos essencialista e instrumentalista. Tal espaço pode representar uma sobreposição de elementos das diferentes conotações, configurando, por exemplo, um sentido mais amplo ao construto. Por outro lado, também encaramos isso como um indício de que a autorregulação, por si só, não é suficiente para interpretar o processo de atribuir de sentido. Nesse domínio, consideramos necessário englobar outras facetas da agência humana, a saber, intencionalidades, antecipações e a autorreflexão.

Uma evidência que reforça essa necessidade é a proporção entre os sentidos em função do público do minicurso, predisposto a se engajar no tema. Como resultado, quase três vezes mais participantes atribuíram um sentido essencialista, atrelado a sentimentos e reações positivas. Caso o estudo fosse realizado com alunos de ensino médio, não necessariamente com afinidade para a Física, identificaríamos as mesmas conotações, nas mesmas proporções? De que modo as intenções desse público, por exemplo, impactariam nos sentidos atribuídos?

Além disso, o resultado de que participantes graduantes em Física manifestaram em maior proporção o sentido essencialista é, no mínimo, intrigante. Por que motivo essa proporção não foi manifestada entre os pós-graduandos, por exemplo? Existe algum fator contextual que incita alunos em formação em Física a atrelar conotações mais positivas para os conceitos?

Não menos importante, os resultados do Estudo 2 estão subjacentes a uma implementação didática breve, baseada em exposições, em um contexto de ensino não formal. Conforme discutido, a construção de sentido também depende das

situações enfrentadas; portanto, atividades didáticas diferentes podem levar a resultados distintos. Consequentemente, não é possível prever quais sentidos os participantes atribuiriam após um percurso formativo mais extenso e diversificado, em contextos de ensino formal.

Com base nessas questões, no Estudo 3 investigaremos os sentidos atribuídos a tópicos de Mecânica em uma disciplina introdutória do curso de Licenciatura em Física da UFRGS. Nesse estudo, pretendemos investigar o impacto das outras facetas da agência humana, bem como o efeito do uso da História da Ciência na construção desses sentidos.

## **6 ESTUDO 3: IMPACTO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NOS SENTIDOS ATRIBUÍDOS A CONCEITOS DE FÍSICA**

O Estudo 2 desta dissertação investigou uma metodologia de inferência de sentidos a conceitos da Física pautado na autorregulação da agência humana. Categorizando as subfunções de auto-observação, autoavaliação e autorreação, foram traçados perfis de atividade autorregulatória e, com isso, inferidos sentidos para o conceito de dualidade onda-partícula. Partimos da premissa de que um perfil de atividade autorregulatória correspondia a um tipo de conotação associada ao conceito em questão, alinhada às projeções e avaliações de dificuldade e, como constatado em nível estatístico, com as autorreações dos participantes.

Entretanto, como discutido nas seções 5.3, 5.4 e 5.5, concluímos que, ainda que a metodologia utilizada tenha proporcionado a identificação de elementos importantes da atribuição de sentido em larga escala, com um grande número de participantes, o procedimento realizado não possibilitou compreender aspectos relacionados com o processo de construção de sentido. Por exemplo, o enfoque na autorregulação não possibilitou explicar por que uma maior proporção dos participantes atribuiu o sentido essencialista ao conceito de dualidade onda-partícula, a saber, os estudantes de Exatas em nível de Graduação. Também não explicou os casos em que participantes indicaram as mesmas auto-observações e atribuições causais, porém diferiram nas importâncias atribuídas e nas autorreações, por exemplo. Se dois participantes projetam e identificam as mesmas dificuldades para assimilar uma situação, por qual motivo, então, atribuem importâncias diferentes para os elementos mobilizados e porque também podem esboçar reações diferentes?

Esses aspectos sugerem que outros fatores da agência humana podem estar impactando na atribuição de sentido. Soma-se a isso a questão da estabilidade dos sentidos inferidos; em que medida uma conotação inferida para um conceito reflete o posicionamento dos estudantes após um intervalo de tempo significativo, ou até mesmo logo após suas experiências? É possível que numa primeira experiência didática se atribua determinado sentido e, ao longo de novas experiências, vá se incorporando novos elementos a ele? Nessa perspectiva, em que medida diferentes

atividades didáticas, como a abordagem histórica, impactam na evolução desses sentidos?

A partir dessas problemáticas, ampliamos o aparato teórico-metodológico do Estudo 3, almejando tanto compreender em maior profundidade a atribuição de sentido, como também o impacto da História da Ciência nesse processo. Com isso, englobamos no último estudo desta dissertação as intencionalidades, as antecipações e a autorreflexão, na perspectiva da agência humana, para investigar os sentidos construídos para conceitos da Física. Visando atingir os objetivos **OE3** e **OE4**, investigamos os sentidos atribuídos a dois tópicos de Mecânica numa disciplina introdutória do curso de Licenciatura em Física (noturno) da UFRGS. Os tópicos foram o modelo de Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) e a Noção de Conservação de Grandezas<sup>19</sup> (NC). Ministradas pelo coorientador desta dissertação, as aulas referentes a esses tópicos contemplaram três semanas cada, com a presença de 12 alunos no total.

As questões de pesquisa do Estudo 3 são as seguintes:

1. Quais são os sentidos atribuídos ao modelo de MRUV e à NC por estudantes ingressantes num curso de licenciatura em Física?
2. Considerando os diferentes aspectos da agência humana, qual é a relação entre os sentidos inferidos em questionários e os sentidos manifestados oralmente pelos estudantes?
3. Quais são os impactos da abordagem histórica nos sentidos atribuídos aos tópicos de MRUV e NC por estudantes ingressantes num curso de Física?
4. Quais são as relações entre esse impacto da abordagem histórica com aspectos da agência humana na atribuição de sentido a conceitos de Física?

Para responder a essas questões, inferimos os sentidos atribuídos ao MRUV e à NC de modo análogo ao Estudo 2: por meio da categorização das respostas a questionários dissertativos sobre autorregulação e posterior análise de similitude dessas categorias. Entretanto, complementamos a análise com uma entrevista semi-estruturada para identificar os sentidos manifestados por eles sobre os tópicos

<sup>19</sup> Entendemos a Noção de Conservação de grandezas como um princípio geral, segundo o qual certas quantidades podem se conservar em processos físicos. Portanto, não nos limitamos a casos específicos, como a conservação de energia ou de momento linear, por exemplo.

estudados. A partir desse contraste, pudemos investigar os impactos tanto da HdC quanto dos demais aspectos da agência humana na atribuição de sentido.

## 6.1 METODOLOGIA

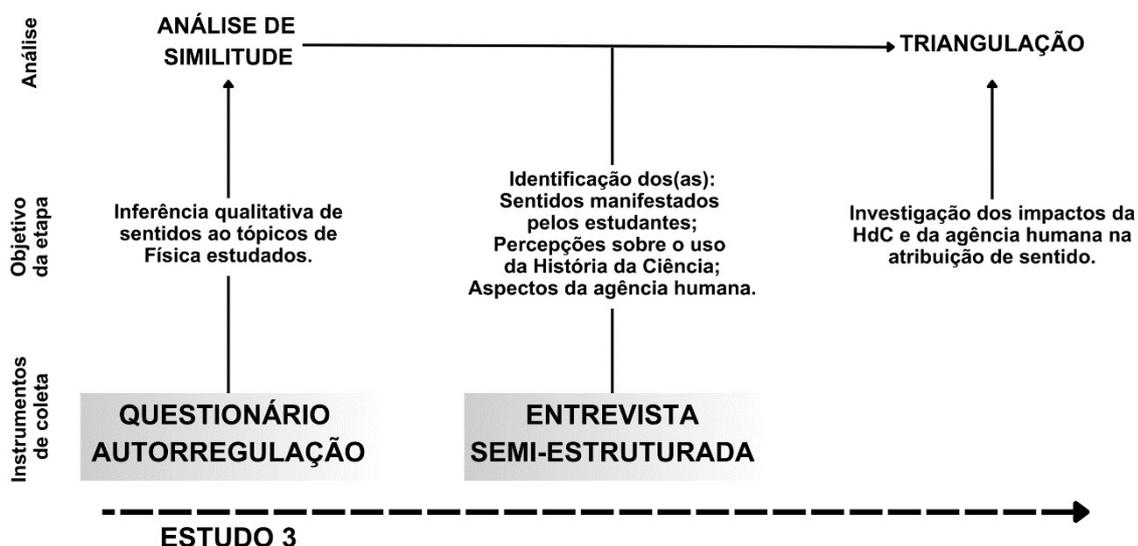
Esta pesquisa foi realizada no contexto de uma disciplina introdutória de um curso de licenciatura em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Intitulada de Introdução à Física, a disciplina contempla a discussão de tópicos tradicionais da Mecânica, como os modelos de MRU, MRUV, leis de Newton, leis de conservação, e teorema trabalho-energia. No contexto dessa pesquisa, as atividades foram organizadas em três estágios inter-relacionados: a) discussão de problemas clássicos da Física; b) revisão de tópicos de matemática; e c) estudo dos referidos tópicos de mecânica clássica. A disciplina foi ministrada no segundo semestre letivo de 2023.

Este trabalho seguiu abordagens qualitativas de uma pesquisa fenomenológica (Cresswell, 2014). Focou-se na análise das experiências dos participantes em fenômenos particulares, nessa pesquisa, o aprendizado de dois tópicos de Física ao longo de seis semanas de estudo na disciplina. Com base nas manifestações dos participantes, identificamos traços comuns nessas experiências, visando sintetizar o fenômeno a partir de interpretações e reflexões, sob a lente da agência humana subjacente à TSC.

Dos doze estudantes da disciplina, sete deles estiveram integralmente envolvidos nesta pesquisa, contribuindo com: a) respostas a dois questionários de autorregulação sobre os tópicos de MRUV e NC, e b) a participação em uma entrevista semiestruturada sobre as experiências dos estudantes na disciplina. A utilização e análise desses instrumentos constam na Figura 6.1. Um termo de consentimento foi assinado pelos participantes consentindo com uso das informações de ambos os instrumentos (vide Apêndice F). Os questionários (Q) foram aplicados com o objetivo de identificar e categorizar as subfunções autorregulatórias mobilizadas pelos estudantes durante o aprendizado dos conteúdos de MRUV e NC. Similarmente ao Estudo 2, essas subfunções foram estudadas em uma análise de similitude, permitindo a inferência dos sentidos atribuídos a tais conceitos. Posteriormente, uma entrevista (E) foi realizada para

avaliar os sentidos inferidos na análise de similitude, corroborando-os ou não, e relacioná-los com aspectos da agência humana, a saber, intencionalidade, antecipação e autorreflexão. Com isso, investigamos a profundidade do impacto da abordagem histórica na elaboração desses sentidos. Na sequência, apresentamos como a HdC foi articulada nas atividades da disciplina.

Figura 6-11 – Processo metodológico do Estudo 3.



Fonte: elaboração própria.

Apesar de a quantidade de participantes envolvidos no Estudo 3 ser menor em comparação ao Estudo 2, optamos por manter a análise de similitude para inferência de sentidos por alguns motivos. Em primeiro lugar, trata-se de um estudo de caráter exploratório, que visa identificar tendências iniciais e visões preliminares sobre o tema. Análises com amostras reduzidas podem servir de base para futuras pesquisas com amostras mais robustas. Em segundo lugar, mesmo com um número baixo de respostas, foi possível identificar elementos valiosos dos sentidos dos participantes, o que reforça a profundidade qualitativa desse tipo de análise. Além disso, em uma amostra reduzida, pode-se ter uma análise aprofundada das categorias das subfunções autorregulatórias, mais fidedignas às respostas dos participantes, o que sustenta inferências posteriores, como a análise de similitude. Evidentemente, esses fatores não eliminam as limitações de uma pesquisa com amostra reduzida, cujas conclusões são preliminares e podem servir de base para estudos futuros.

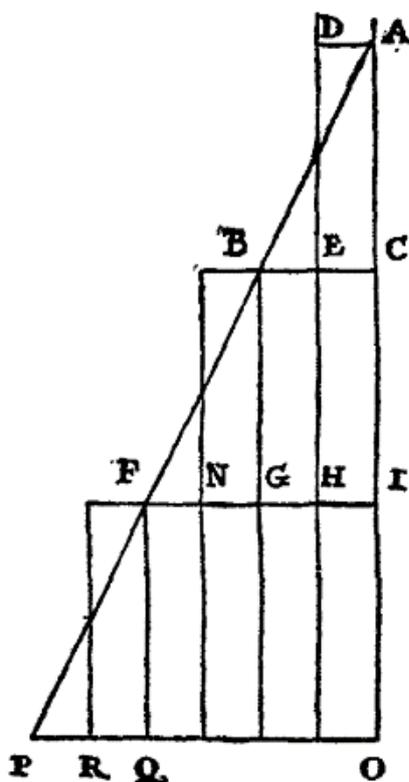
De qualquer forma, ressaltamos o caráter qualitativo do Estudo 3. Haja vista a importância dos dados quantitativos, priorizamos, entretanto, reflexões mais apreciativas de aspectos individuais dos participantes envolvidos, visando tecer dinâmicas mais complexas. Dessa forma, o foco do Estudo 3 é o de identificar e discutir relações subjetivas entre sentido, agência humana e História da Ciência.

### **6.1.1 A abordagem histórica utilizada nas atividades didáticas da disciplina**

A abordagem histórica foi articulada em diferentes profundidades nos tópicos de MRUV e NC. Como se pode constatar na Quadro 6.1, no tópico de MRUV, o uso da HdC foi pontual, compreendendo uma única atividade de leitura de um curto texto autoral (ver Apêndice C), inspirado em Ribeiro Junior *et al.* (2012). Nesse texto, apresenta-se uma discussão sobre o suposto experimento da torre de Pisa de Galileu, seguido da argumentação geométrica<sup>20</sup> desse filósofo sobre a proporção entre distância percorrida e o quadrado do tempo transcorrido nos movimentos de queda livre (Figura 6.2). Três questões foram abordadas em grupo, a saber: a) quais eram as motivações e os pressupostos de Galileu para propor seu argumento?, b) o experimento da torre de Pisa poderia ter ocorrido?; e c) explique o argumento geométrico de Galileu.

<sup>20</sup> Na Figura 6.2, uma aresta vertical representa um intervalo de tempo; uma aresta horizontal, um incremento de velocidade. A área de um retângulo, sabia Galileu em função do seu conhecimento dos trabalhos de Oresme, é uma distância. No abandono de um objeto em queda livre, Galileu supõe o “movimento mais simples possível”, isto é, uma relação linear entre velocidade e tempo. Daí obtêm-se uma progressão aritmética da queda, concluindo, então, que a distância percorrida é proporcional ao quadrado do tempo transcorrido.

Figura 6-12 – Ilustração de Galileu para propor a relação entre distância e tempo quadrático.



Fonte: Galilei (1914)

No tópico de NC, os aspectos da história da ciência permearam as exposições do professor em diferentes momentos das duas semanas de estudo desse tópico. Por exemplo, a exposição sobre a relação entre a terceira lei de Newton e a conservação de *momentum* iniciou com uma retomada dos trabalhos de Descartes sobre colisões. No mesmo sentido, frequentemente o professor contrastava as concepções aristotélicas e newtonianas de movimento. Já nas exposições sobre os diferentes teoremas de trabalho e energia, foram ressaltados os esforços de diferentes pesquisadores, em diferentes momentos da história, na busca por princípios gerais de conservação, como Leibniz, Lavoisier, Faraday, Carnot, Joule e Mayer. Entretanto, o cerne da abordagem histórica foi a atividade de leitura e discussão do artigo científico de Ponczek (2000), sobre a “disputa entre  $mv$  e  $mv^2$ ”. A partir desse texto, questões sobre as relações entre religião, metafísica e Física foram discutidas na turma. Inicialmente em grupos, e posteriormente entre a turma inteira, os estudantes elaboraram respostas para as seguintes questões: a) Historicamente, qual a relação do conceito de conservação com a noção de Deus?;

b) Para Descartes, o que se conserva e por quê?; c) O que Leibiniz defendia e quais eram seus argumentos?; e d) Quem estava certo? Por quê?

Quadro 6.1 – Atividades da disciplina referente aos conteúdos de MRUV e NC. As atividades destacadas em negrito contiveram abordagens históricas.

Tópico	Período	Atividades didáticas	Descrição
MRUV	Semana 1	Atividade experimental	Experimento com bolas de isopor, ao ar livre, para compreender e contrastar o movimento de queda dos corpos e o modelo de queda livre; análise de dados do experimento de queda de corpos com o <i>software</i> Tracker.
		Leitura de texto histórico	Leitura de texto – inspirado em Ribeiro Junior <i>et al.</i> (2012) – da demonstração geométrica de Galileu da proporcionalidade quadrática do MRUV.
	Semana 2	Exposição conceitual	Síntese das diferenças entre a cinemática e dinâmica.
		Resolução de problemas em grupo	Problemas sobre MRUV. Exemplo: esboçar gráficos temporais a partir de uma tabela de dados.
	Semana 3	<b>Questionário 1 – autorregulação (Apêndice D);</b> Avaliação.	
NC	Semana 1	<b>Exposição conceitual</b>	<b>Breve narrativa histórica com demonstração da conservação de <i>momentum</i> linear a partir da 3ª Lei de Newton.</b>
		Resolução de problemas em grupo	Problemas sobre conservação de <i>momentum</i> . Exemplo: duas pessoas patinando no gelo se impulsionam: quais são as suas velocidades finais?
		<b>Exposição conceitual</b>	<b>Breve narrativa histórica com demonstração da conservação da energia mecânica a partir da equação de Torricelli; exposição do Teorema Trabalho &amp; Energia cinética.</b>
	Semana 2	Leitura de texto histórico	Leitura e questões sobre o texto sobre a “disputa $mv$ e $mv^2$ ” (Ponczek, 2000). Exemplo: historicamente, qual é a relação do conceito de conservação e a vontade divina?
		Resolução de problemas em grupo	Experimento mental sobre pêndulo de Newton. Exemplo: 1. Abandone uma bolinha de uma altura $h$ : o que acontece no sistema? 2. Abandone agora uma de uma altura $2h$ : o que acontecerá? 3. Escreva um argumento que explique

		porque isso ocorre.
	Semana 3	<b>Questionário 2 – autorregulação (Apêndice E); Avaliação</b>

Cada tópico de estudo compreendeu 8 horas-aula. Cabe ressaltar que outros conteúdos foram abordados anteriormente na disciplina, como, por exemplo, o modelo de Movimento Retilíneo Uniforme (MRU), a discussão de alguns problemas clássicos da Física, como o cálculo do raio da Terra por Erastóstenes, e uma revisão de conteúdos da matemática, como vetores e funções trigonométricas. Os questionários sobre autorregulação foram implementados em momentos imediatamente anteriores a avaliações formais da disciplina. As entrevistas foram realizadas cerca de três semanas após o término da disciplina. Na sequência, detalharemos as características desses questionários e da entrevista semi-estruturada.

### 6.1.2 Questionários de autorregulação e entrevista semi-estruturada

Os questionários sobre autorregulação foram compostos de seis questões dissertativas sobre as experiências dos participantes durante os encontros da disciplina, estritamente sobre os conteúdos de MRUV e NC (ver apêndices D e E). Somado a esses seis itens, uma pergunta objetiva foi adicionada para que os alunos indicassem qual atividade didática consideraram mais importante no aprendizado de um determinado tópico. Por exemplo, para o tópico de NC, a pergunta foi: “Dentre as atividades realizadas durante o estudo da conservação de grandezas, marque APENAS UMA que você considera que foi mais importante para você construir um significado para esse tópico”. Com isso, as opções foram “*Exposições do professor*”, “*Resolução de exercícios*” e “*Leitura e atividades sobre o texto histórico*”.

Esses questionários foram estruturados com base no Quadro 4.1 (ver seção 4.1) e, analogamente ao Estudo 2, tinham a finalidade de inferir e categorizar as subfunções autorregulatórias mobilizadas pelos estudantes durante o processo de aprendizagem desses conteúdos. Devido a isso, optamos por manter um padrão de questionários e não os direcionar às experiências específicas de cada tópico. Por exemplo, as primeiras questões de cada instrumento foram, em síntese, “Que dificuldades você imaginou que teria previamente para aprender sobre o Movimento

Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV)?” e “Que dificuldades você imaginou que teria previamente para aprender sobre a noção de conservação de uma grandeza física?”.

Por outro lado, por meio da entrevista semi-estruturada, buscamos investigar a coerência dos sentidos inferidos com os questionários com os sentidos manifestados pelos estudantes em entrevistas após as experiências da disciplina. Para isso, as entrevistas foram realizadas posteriormente as análises de similitude e essas experiências. Além disso, como consta no Quadro 6.2, investigamos as relações entre esses sentidos – inferidos e manifestados – com diferentes aspectos da agência humana: intencionalidade, antecipação e autorreflexão, visando identificar o impacto da HdC nesse processo.

Quadro 6.1 – Perguntas orientadoras da entrevista semiestruturada.

Pergunta geral	Aspectos da agência humana investigados
Fale sobre as tuas vivências/experiências na disciplina Introdução à Física.	Autorreflexão
Fale sobre os conceitos e teorias abordados na disciplina.	Intencionalidade Autorreflexão
Para ti, por que e para quê existe o modelo de MRUV?	Autorreflexão
Para ti, por que e para quê existe a noção de conservação na Física?	Autorreflexão
Comparando o MRUV e as leis de conservação, ocorreram diferenças na forma como os alunos reagiram depois de estudá-los? Por quê? Teve alguma característica das aulas que fomentou essas diferenças?	Autorreflexão
Notamos nos questionários que os alunos não pontuaram as atividades com História da Ciência como as mais importantes para a aprendizagem dos conteúdos. Qual é a sua opinião sobre isso?	Autorreflexão Intencionalidades
Que importância você pensa que tem que ter um conteúdo novo que você vai começar a estudar? Ou seja, quando você “se prepara” para aprender um conteúdo, o que você tem em mente com relação a pra que ele deveria servir?	Antecipações

Essas perguntas foram aprofundadas, nas particularidades de cada entrevista, com questionamentos secundários. Por exemplo, o segundo item do Quadro 6.2 pôde ser melhor elaborado com perguntas como: “Você pensa que tem algum motivo particular para esse tópico ter sido o mais importante?”. Já o sexto item, referente ao impacto da HdC, por vezes foi provocado com perguntas do tipo: “Você acha que a HdC pode ter mais confundido do que ajudado? Por quê?”

Como se pode observar, as perguntas iniciais fornecem um panorama geral dos tópicos de estudo mais ressaltados pelos participantes. Isso permite investigar se tais tópicos destacados envolveram abordagens históricas. Nas questões finais

do instrumento, perguntas específicas sobre o uso da HdC possibilitam avaliar um posicionamento objetivo dos participantes quanto a essa abordagem. A partir disso, o contraste dessas percepções com os sentidos manifestados pelos participantes possibilita inferir o impacto do uso da HdC na elaboração desses sentidos pelos estudantes.

## 6.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os quadros 6.3 e 6.4 sintetizam os resultados das análises dos questionários sobre autorregulação utilizados. Nas primeiras colunas de cada quadro, apresentamos as categorias das subfunções autorregulatórias identificadas; na coluna “Sentido inferido (Q)”, constam os sentidos atribuídos a esses conceitos, inferidos dessas categorias agrupadas por meio de uma análise de similitude. Como se pode constatar, esse processo possibilitou a inferência de dois sentidos atribuídos a ambos os conteúdos.

Nos parágrafos subsequentes, detalharemos as subfunções autorregulatórias manifestadas pelos participantes nos questionários, bem como os sentidos inferidos na análise de similitude para os conteúdos de MRUV e NC. Na sequência, apresentamos os resultados da triangulação entre os questionários, as análises de similitude e as entrevistas.

### **6.2.1 Sentidos atribuídos ao MRUV: diferentes graus de utilidade associados ao modelo**

Para o tópico de MRUV, categorizamos dois tipos de auto-observação e de atribuições causais, conforme consta no Quadro 6.3. Além disso, identificamos dois tipos de importância atribuída e dois tipos de autorreações. A articulação entre essas subfunções possibilitou a inferência de dois sentidos para o modelo de MRUV, a partir de três ilhas de subfunções geradas na análise de similitude.

Quadro 6.1 – Síntese das subfunções autorregulatórias e sentidos inferidos no conteúdo de MRUV para cada Participante (P). Cada linha se refere aos resultados de um participante.

P.	Auto-observação	Autoavaliação		Autorreação	Sentido Inferido (Q)
		Atribuição causal	Importância do conceito		
#1	Base em Física	Base em Física	Conceitual	Vou estudar mais sobre MRUV.	Sentido Conceitual
#2	Base em Física	Base em Física	Fenomenológica	Avançarei nos estudos de Mecânica.	Sentido fenomenológico
#3	Base em Física	Base em Física	Fenomenológica	Avançarei nos estudos de Mecânica.	Sentido fenomenológico
#4	Base em Física	Base em Física	Fenomenológica	Avançarei nos estudos de Mecânica.	Sentido fenomenológico
#5	Base em Física	Base em matemática	Conceitual	Vou estudar mais sobre MRUV.	Sentido Conceitual
#6	Base em matemática	Base em matemática	Conceitual	Vou estudar mais sobre MRUV.	Sentido Conceitual
#7	Base em matemática	--	Conceitual	Avançarei nos estudos de Mecânica.	Sentido fenomenológico

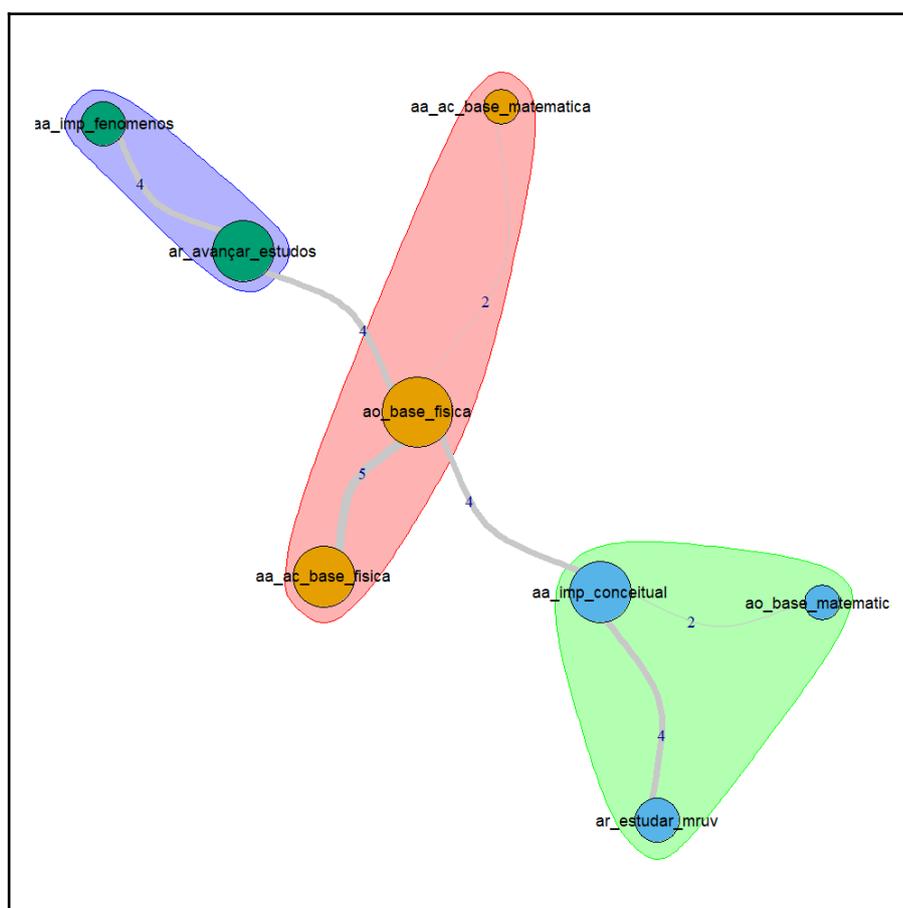
Como se pode constatar no Quadro 6.3, as auto-observações manifestadas pelos participantes, ou seja, as projeções de dificuldades que estipularam para aprender o MRUV, estiveram atreladas a consolidar ou uma base em conteúdos prévios da Física, ou da Matemática. Por exemplo, participantes que manifestaram a auto-observação “Base em Física” responderam ao questionário com frases como: *“Imaginei ter dificuldades em entender o conceito de aceleração. Até o momento eu não entendia como funcionava a formula com a velocidade e aceleração”*. Enquanto isso, participantes que projetaram a necessidade de ter uma “Base em Matemática”, responderam com, por exemplo, *“Entender os parâmetros dos sinais (+, -) na adoção do referencial no momento da solução [de um exercício]”*. Constatamos que essas auto-observações se consolidaram como atribuições causais para o aprendizado do MRUV. No geral, participantes que manifestaram a atribuição causal “Base em Física” responderam com frases como: *“Aplicar os conceitos na prática, a aceleração e velocidade numa formula [...] Entender de maneira definitiva o que é cada “coisa” (letra) nas fórmulas e como eles se relacionam”*. Já a atribuição causal “Base em Matemática” pode ser exemplificada com respostas como: *“Superar as dúvidas referentes a matemática num geral, e como lidar com eles no papel”*. Essas respostas indicam que, para o conteúdo de MRUV, os estudantes dispuseram de boa maturidade para prever os desafios que enfrentariam nas atividades sobre o conteúdo.

Foi na subfunção de atribuir importância ao conceito (pertencente à autoavaliação) que emergiram diferenças maiores nas respostas dos participantes. Os participantes se dividiram em dois tipos de importância: uma conceitual e outra fenomenológica. No primeiro caso, o MRUV foi considerado um conteúdo importante enquanto “plano de fundo” para aprender outros conceitos básicos. Por exemplo, um participante disse que o MRUV é importante “[...] *para gerar uma base para discussões futuras mais complexas*”. Por outro lado, a importância fenomenológica abarcou expressões como: “[...] *é de grande importância pois ajuda a elucidar o comportamento de objetos no que tange os seus movimentos e características*”.

Por fim, as autorreações dos participantes envolveram majoritariamente sentimentos positivos, porém se distinguiram na intenção de avançar ou não nos estudos da disciplina. Por exemplo, um participante que manifestou sentimentos de motivação respondeu ao sexto item (“As atividades sobre o conceito influenciarão sua capacidade de avançar nos estudos sobre Física? Justifique.”) com: “*Sim, [pois tive] um entendimento teórico, prático e histórico*”, indicando a autorreação “Avançarei nos estudos de Mecânica”. Entretanto, outros participantes responderam, por exemplo, que “*percebi que mesmo entendendo os experimentos e conseguindo explica-los, ainda é necessário estudar o entendimento dos cálculos*”, manifestando a autorreação “Vou estudar mais sobre MRUV”.

A Figura 6.3 apresenta a análise de similitude dessas subfunções. Como se pode observar, a análise gerou três ilhas de subfunções, sendo a ilha central uma “ponte de conexão” entre as ilhas periféricas. Essa ilha central foi composta pela auto-observação “Base em Física” (ao\_base\_física) e por ambas atribuições causais “Base em Física” (aa\_ac\_base\_fisica) e “Base em Matemática” (aa\_ac\_base\_matematica). Essa é uma evidência do compartilhamento das mesmas auto-observações e atribuições causais entre todos os participantes e, conseqüentemente, entre as ilhas periféricas geradas na análise. Como dito, nessa perspectiva, foram as subfunções de importância atribuída e autorreação que caracterizaram as ilhas periféricas.

Figura 6-13 – Análise de similitude das subfunções autorregulatórias identificadas nos questionários para o tópico de MRUV.



Fonte: IRAMUTEq.

A ilha verde, por exemplo, apresentou uma aproximação entre a “Importância conceitual” (aa\_imp\_conceitual) e a autorreação “Vou estudar mais sobre MRUV” (ar\_estudar\_mruv). Em menor grau, também esteve presente a auto-observação “Base em Matemática” (ao\_base\_matematica). Essa ilha reúne, portanto, subfunções que conferem ao MRUV uma relevância para compreender conceitos subjacentes a ele, como velocidade, aceleração, etc. Por exemplo, um participante respondeu no questionário que o MRUV é importante para “*Entender a importância dos modelos nos estudos da realidade*”, isto é, ressaltou a importância do MRUV enquanto modelo conceitual, portanto, uma importância do tipo conceitual. Na sequência, manifestou a autorreação “Vou estudar mais sobre o MRUV”, ao responder que “*Imagino que este conteúdo seja necessário para compreender os próximos*”.

Por outro lado, a ilha azul foi composta pela autorreação “Avançarei nos estudos de Mecânica” (ar\_avançar\_estudos) e pela importância atribuída “Importância fenomenológica” (aa\_imp\_fenomenos). Essa ilha, portanto, indica uma perspectiva diferente para o MRUV, onde ele tem relevância para entender certos fenômenos. Uma vez entendida a sua utilidade e os fenômenos subjacentes, os participantes manifestaram a vontade de avançar nos estudos sobre outros tópicos de Mecânica. Por exemplo, o participante anteriormente citado, que atribuiu importância fenomenológica ao MRUV, ao dizer que “[Ele] é de grande importância pois ajuda a elucidar o comportamento de objetos no que tange os seus movimentos e características”, também respondeu no questionário que “[Foi] interessante poder lembrar conceitos e/ou desfazer conceitos equivocados”. Além disso, indicou se sentir motivado e, portanto, manifestou a autorreação “Avançarei nos estudos de Mecânica”.

Com base nisso, inferimos a existência de dois sentidos atribuídos para o MRUV: o primeiro associado à ilha verde na Figura 6.3, denominado de sentido *conceitual* e enunciado como “O MRUV é um modelo que introduz conceitos básicos da Física; ele é importante para construir uma base conceitual para estudos futuros em Mecânica”; e o segundo associado à ilha azul da Figura 6.3, denominado de sentido *fenomenológico* e enunciado como “O MRUV é um modelo importante para compreender fenômenos do cotidiano; ele é útil para contextualizar meu conhecimento em Física”.

### **6.2.2 Sentidos atribuídos a Noção de Conservação (NC): diferentes status conferidos ao construto**

Para o conteúdo de NC, similarmente ao MRUV, elencamos duas categorias para todas as subfunções autorregulatórias, conforme consta na Quadro 6.4. A análise de similitude dessas subfunções gerou duas ilhas de palavras, permitindo a inferência de dois sentidos para esse conteúdo.

Quadro 6.1 – Síntese das subfunções autorregulatórias e sentidos inferidos para o conteúdo de Noção de Conservação para cada Participante (P). Cada linha se refere aos resultados de um participante.

P.	Auto-observação	Autoavaliação		Autorreação	Sentido Inferido (Q)
		Atribuição causal	Importância do conceito		
#1	Base em Física	Base em Física	Epistêmica	Vou estudar mais sobre NC porque quero.	Sentido epistêmico
#2	Base em Física	Base em Física	Epistêmica	Vou estudar mais sobre NC porque quero.	Sentido epistêmico
#3	Base em Física	Base em matemática	Conceitual	Vou estudar mais sobre NC porque preciso.	Sentido de indissociabilidade
#4	--	Base em Física	Conceitual	Vou estudar mais sobre NC porque preciso.	Sentido de indissociabilidade
#5	Base em Física	Base em Física	Conceitual	Vou estudar mais sobre NC porque quero.	Sentido epistêmico
#6	Base em matemática	Base em Física	Epistêmica	Vou estudar mais sobre NC porque preciso.	Sentido epistêmico
#7	Base em Física	Base em Física	--	Vou estudar mais sobre NC porque preciso.	Sentido de indissociabilidade

Novamente, as auto-observações e atribuições causais se aproximaram da concepção de que a compreensão da NC demanda uma base de conceitos prévios em Física ou em Matemática. Por exemplo, um participante projetou que “*necessitava entender as leis de Newton e MRU/MRUV*”, indicando a auto-observação “Base em Física”. Entretanto, esse mesmo participante manifestou a atribuição causal “Base em Matemática”, quando respondeu às perguntas sobre atribuições causais com o seguinte: “*Não tive nenhuma dificuldade [conceitual] por já conhecer sobre conservação e energia. Minha maior dificuldade foi nos cálculos*”. Outro participante projetou a auto-observação “Base em Física” ao responder que: “*Não achei que teria grandes dificuldades, achava que precisaria saber conceitos básicos, velocidade, massa, etc*”. Posteriormente, ele consolidou essa auto-observação como a atribuição causal “Base em Física”, porém levando em conta outros conceitos, ao responder que foi necessário “*entender as definições das grandezas e como elas se relacionam. Percebi que vários conceitos como trabalho e energia são parecidos, mas representam coisas diferentes, o que pode ser bem confuso*”.

As importâncias atribuídas à NC, subelemento da autoavaliação, se dividiram em um teor conceitual e outro epistêmico. No primeiro caso, o conteúdo foi considerado importante para que se possa compreender algumas noções teóricas e conceitos que são usados na Física. Por exemplo, um participante respondeu ao

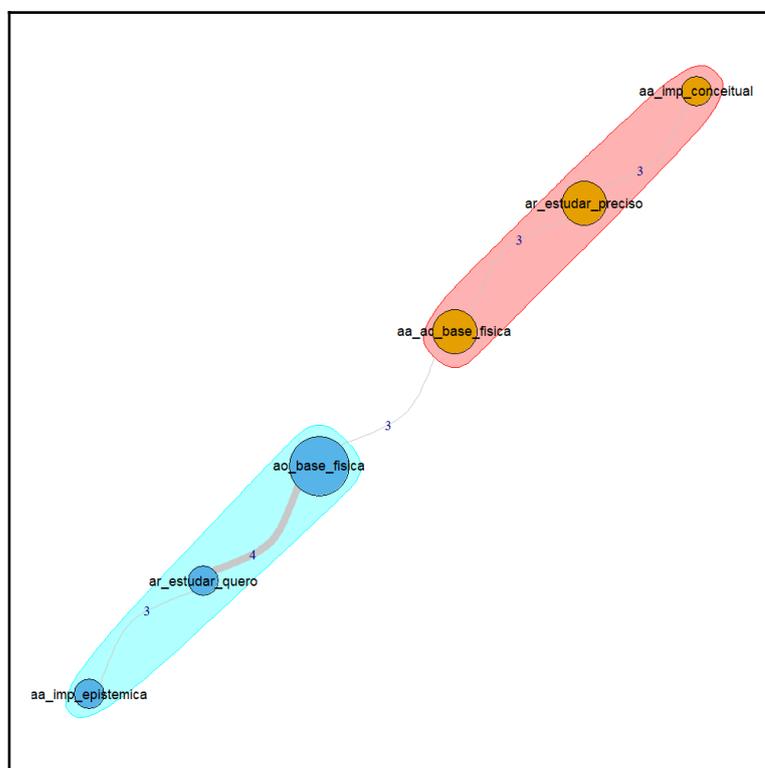
questionário que as conservações de momentum e energia “*são fundamentais e é necessário saber diferenciar as grandezas, pois são muito usadas na Mecânica*”. Nota-se que esse participante não distingue a NC dos conceitos de momentum e energia. Outro participante emitiu um raciocínio similar, ao responder que “*essa matéria dá noções gerais de modelos e do entendimento do real, no caso da energia*”. Essa é uma evidência de uma indissociabilidade da NC de conceitos subjacentes manifestadas pelos participantes. Por outro lado, participantes que conferiram uma importância epistêmica para a NC ressaltaram aspectos filosóficos e um grau de generalidade atrelado a esse conteúdo. Por exemplo, um participante respondeu que “*para além de ser útil em cálculos, é uma questão quase filosófica entender que existem certas grandezas que por algum motivo se conservam*”. Similarmente, outro participante respondeu que a NC é “*muito importante, visto que foi um marco na Física o debate sobre conservação, sendo responsável por quebrar paradigma*”.

As autorreações dos participantes expressaram, em uníssono, uma intenção de continuar os estudos sobre o conteúdo de NC. Entretanto, essa intenção foi gerada por duas motivações distintas: uma de interesse e outra de necessidade. No primeiro caso, os participantes que manifestaram a autorreação “*Vou estudar mais sobre NC porque quero*”, indicaram sentimentos mais positivos durante os estudos sobre esse conteúdo, bem como o despertar de motivação e curiosidade para aprofundar tais estudos. Por exemplo, um participante respondeu ao questionário com: “*Tive curiosidade em entender o conteúdo e satisfação em entender eles. São habilidades fundamentais que, acredito eu, será importante no decorrer de todo o curso, até mesmo quando eu começar a lecionar numa escola, da cidade onde moro*”. Por outro lado, participantes que expressaram a autorreação “*Vou estudar mais sobre NC, porque preciso*” indicaram sentimentos mais negativos durante o estudo desse conteúdo, como confusão e tristeza, e a necessidade de estudá-lo seguiu de um entendimento incompleto do tópico. Por exemplo, um participante enunciou que “*ao não entender conteúdos sinto confusão e tristeza, por medo de não dar conta, porém isso se torna impulso para maiores estudos*”.

A análise de similitude dessas subfunções autorregulatórias indicou duas ilhas de categorias, como consta na Figura 6.4. Observamos, novamente, a auto-observação e a atribuição causal “*Base em Física*” (ao\_base\_fisica e aa\_ac\_base\_fisica) exercerem uma ponte de conexão entre as ilhas de palavras,

indicando serem subfunções presentes em mais de um possível sentido atribuído ao conteúdo de NC. Por outro lado, a autorreação “Vou estudar mais sobre NC, porque preciso” (ar\_estudar\_preciso) esteve mais relacionada com a “Importância Conceitual” (aa\_imp\_conceitual) atribuída, como se observa na ilha vermelha da Figura 6.4. Enquanto isso, na ilha azul, a autorreação “Vou estudar mais, porque quero” (ar\_estudar\_quero) esteve atrelada à “Importância Epistêmica” (aa\_imp\_epistemica).

Figura 6-14 – Análise de similitude das subfunções autorregulatórias identificadas nos questionários para o tópico de NC.



Fonte: elaboração própria (IRAMUTEq)

A partir dessa análise de similitude, inferimos dois sentidos atribuídos a NC. Denominamos um deles de sentido *epistêmico*, associado à ilha azul da Figura 6.4 e enunciado como: *a noção de conservação de grandezas é um construto com forte bagagem filosófica e histórica; é importante porque é universal na Física*. O outro sentido, associado à ilha vermelha da Figura 6.4, denominamos de sentido de *indissociabilidade*, e pode ser sintetizado como: *a noção de conservação de grandezas explica alguns conceitos da Física; é indispensável para compreender estes conceitos e, portanto, consolidar uma base de conhecimento em Física*. Como

discutiremos na sequência, consideramos que o sentido epistêmico, em particular, foi impulsionado pela ênfase na abordagem histórica.

### 6.2.3 Comparação entre os sentidos inferidos nos questionários e os sentidos manifestados nas entrevistas

Visando responder à questão de pesquisa “Considerando os diferentes aspectos da agência humana, qual é a relação entre os sentidos inferidos e os sentidos manifestados pelos estudantes?”, comparamos os sentidos inferidos nas análises de similitudes com as manifestações dos participantes sobre os tópicos de MRUV e NC nas entrevistas. Esse contraste está sintetizado na Quadro 6.5, onde apresentamos, numa coluna, os sentidos inferidos dos questionários (Sentidos Inferidos (Q)) e, noutra coluna, os sentidos manifestados nas entrevistas (Sentidos Manifestados (E)).

Quadro 6.1 – Contraste entre os sentidos inferidos e os sentidos manifestados por cada Participante P.

Tópico	P.	Sentido Inferido (Q)	Sentido Manifestado (E)
MRUV	#1	Conceitual	“Simplificação que permite estudar a realidade”.
	#2	Fenomenológico	“Modelo base de um mundo perfeito para adaptar a realidade; é uma maneira de descrever a realidade”.
	#3	Fenomenológico	“É importante para tudo que vemos no dia-a-dia, desde o andar de um carro. É um modelo clássico para até uma criança entender, pois é mais palpável”.
	#4	Fenomenológico	“É um modelo que ajuda entender as coisas (fenômenos) de maneira um pouco mais simples”.
	#5	Conceitual	“Mas para o MRUV? De certo modo [eu não vejo]... tem assuntos mais relevantes... [porém] senti necessidade de estudar ele”.
	#6	Conceitual	“É importante para dar início a todo conteúdo da Física. Tem importância didática para dar uma base”.
	#7	Fenomenológico	“Decorei a resposta pra prova né... Serve para entender outros conceitos e desenvolver habilidades”.
NC	#1	Epistêmico	“Essa busca por uma conservação na Física vem de muito tempo atrás. É uma coisa que a gente observa na natureza, que existe uma certa tendência a conservação, e isso facilita o nosso estudo da Física”.
	#2	Epistêmico	“NC de energia serve para descrever sistemas... é uma base para outros conceitos”.
	#3	Indissociabilidade	“É importante pois é “uma explicação da própria física... [A NC] é mais importante que os conceitos, mas não dá pra falar deles sem NC”.
	#4	Indissociabilidade	“Penso na conservação de energia... é como se não achasse nada [somente da NC]”.
	#5	Epistêmico	“É [algo] mais amplo, é “introdução na Física”, ajudar entender outros conteúdos”.

#6	Epistêmico	"Sempre lembro da disputa ( $mv$ e $mv^2$ )... Pode-se aplicar de mais de uma forma... Porém ajudar entender outras coisas".
#7	Indissociabilidade	"Deus, né!?... É uma busca de respostas absolutas".

Constatamos uma convergência entre os sentidos inferidos pela análise de similitude dos questionários com os sentidos manifestados nas entrevistas. Por exemplo, um participante, ao ser perguntado "Para ti, por quê e para quê existe o modelo de MRUV?", respondeu "*é um modelo base de um mundo perfeito... um modelo que podemos adaptar para nossa realidade*", manifestando um sentido fenomenológico. Outro participante manifestou, ao responder a mesma pergunta sobre o MRUV, que "[Existe] *para dar início a todo conteúdo da Física, para termos a ideia de algo mais básico e com isso avançar... Acho que tem uma importância didática muito grande... entender coisas mais básicas, gráficos, cálculos de velocidade, etc*", aproximando-se do sentido conceitual.

Nessa mesma linha, as respostas para a pergunta "Para ti, por quê e para quê existe a Noção de Conservação na Física?" evocaram diferentes manifestações, como "*Essa busca por uma conservação vem de muito tempo atrás... é uma coisa que a gente observa na natureza, que existe certa tendência a conservação, e isso facilita o estudo na Física*" e "*Quando falamos em conservação penso na conservação de energia... [da NC em si] é como se não achasse nada...*". O primeiro excerto exemplifica o sentido epistêmico, onde a NC é encarada numa perspectiva holística, filosófica, histórica e/ou unificadora na Física. Enquanto isso, o segundo excerto se relaciona com o sentido de indissociabilidade, onde a NC é encarada como algo que está intrinsecamente relacionado a outros conceitos da Física e não se distingue desses conceitos, ou seja, não faz "sentido" falar de NC sem recorrer a estes conceitos e vice-versa.

Desse modo, concluímos que os sentidos inferidos na análise de similitude representam, em algum nível, os sentidos que os participantes atribuíram para os conteúdos estudados ao longo da disciplina. Entretanto, percebe-se que os sentidos manifestados pelos estudantes são, de modo geral, mais abrangentes que os sentidos inferidos.

Como discutido, a autorregulação é um processo interrelacionado e impactado por outros aspectos da agência humana, ao passo em que a análise de similitude realizada se restringiu ao estudo das subfunções autorregulatórias. Isso

permite a inferência de sentidos gerais possivelmente atribuídos pelos participantes a conceitos de Física. Entretanto, conforme o Estudo 2 já havia indicado, não se exclui a possibilidade de co-ocorrências pontuais entre subfunções não agrupadas na análise, ou da existência de subfunções que possuem co-ocorrências com múltiplas subfunções. Isso implica que o sujeito pode ter construído um sentido para um conceito/noção que contenha elementos dos diferentes sentidos inferidos da análise de similitude. Consideramos que se trata de um sentido distinto, que engloba diferentes aspectos daqueles identificados e codificados pela análise.

Essa possibilidade foi corroborada pelas manifestações de alguns participantes. Por exemplo, ao ser perguntado “Por que e para que existe a Noção de Conservação na Física”, o participante 3 respondeu que *“ela é uma das explicações da própria Física, [já que] historicamente existia uma briga de conceitos filosóficos sobre se o universo era equilibrado ou se as coisas se dissipam. [Porém] a NC vem do conceito de momentum, e a energia é uma teorização posterior”*. Inicialmente, esse participante ressalta o caráter mais abrangente, universal e histórico da NC enquanto construto que permeia toda Física, característico do sentido epistêmico inferido à NC; posteriormente, entretanto, o participante expressa uma relação de proximidade e origem entre a NC e certos construtos da Física, como energia e momentum, conferindo um elemento do sentido de indissociabilidade inferido pela análise.

Curiosamente, ao ser perguntado sobre a “razão de ser” do MRUV, o mesmo participante respondeu que ele *“é importante para tudo que vemos no dia-a-dia, desde o andar de um carro. É um modelo clássico para todo mundo entender, até uma criança do Ensino Fundamental, pois é mais palpável”*. Nesse trecho, o sujeito manifesta elementos do sentido fenomenológico e do sentido conceitual simultaneamente, uma vez que ressalta a relevância da conexão do MRUV com eventos do cotidiano (sentido fenomenológico) ao mesmo tempo que indica que essa conexão é possível pela simplicidade dos conceitos subjacentes ao MRUV (sentido conceitual). Ao ser perguntado se o MRUV era relevante pela sua característica de possibilitar a explicação de eventos cotidianos ou se pela simplicidade dos conceitos que evoca, o participante respondeu que *“uma coisa leva à outra; por serem mais compreensíveis, estão mais explícitos no dia-a-dia”*. Isso elucidava que o sujeito expressa um único sentido que incorpora esses dois aspectos, anteriormente discriminados na análise de similitude.

Mas por que esses sentidos atribuídos não foram manifestados integralmente nos questionários, e sim nas entrevistas? Recordemos que os processos cognitivos de um indivíduo são impactados pelas características dos ambientes enfrentados (Bandura, 2008); situações diferentes exigirão processos cognitivos diferentes. Responder a um questionário é uma atividade mais passiva e exige menor reflexão do que interagir em uma entrevista presencial, respondendo a perguntas abertas sobre experiências de aprendizagem. Assim, nessas duas situações, a ativação de mecanismos autorregulatórios, bem como o estímulo a autorreflexões, pode diferir o suficiente para que as manifestações dos indivíduos sejam também diferentes.

Nesse contraste, a seletividade dos indivíduos sobressai em situações menos reflexivas e que exigem exercícios autorregulatórios mais automáticos. Em outras palavras, numa situação mais passiva, como responder à um questionário, o sujeito tenderá a manifestar aspectos salientes de seu pensamento em curso, que fazem alusão às suas intencionalidades e expectativas primárias. Por outro lado, em situações mais complexas, como numa entrevista, o sujeito possivelmente realiza uma outra atividade autorregulatória, bem como exerce autorreflexões mais profundas, elaborando e expondo também aspectos latentes do sentido que atribuiu para um conteúdo estudado. Por exemplo, o participante 4 respondeu ao questionário, sobre a importância do conteúdo de Noção de Conservação na Física, que “[é importante] *para progredir na parte teórica do curso e compreender mais o mundo*”; porém, na entrevista, manifestou que “*Quando falamos em conservação, me lembro muito do que vimos da conservação de energia, e aí fico travado pois não sei o que pensar. Não sei como responder isso... é como se não achasse nada [somente da NC]*”. Ou seja, o participante apresenta uma resposta genérica no questionário, ao passo que, na entrevista, revela indícios do porque não conseguiu responder com maior profundidade no questionário; é porque manifesta um sentido de indissociabilidade, no qual não há nexos em falar da NC sem fazer alusão a outros conceitos, como energia.

Já o participante 6 respondeu, no questionário, também sobre importância da NC, que ela é “*muito importante, visto que foi um marco na Física o debate sobre conservação, sendo responsável por quebrar paradigma*”. Esse trecho tem relação direta com o sentido epistêmico inferido à NC. Porém, na entrevista, o participante além de reforçar esse ponto, também manifestou aspectos do sentido de indissociabilidade, quando disse que “*a conservação pode se aplicar em mais de*

*uma coisa, tipo Energia Mecânica e Energia Cinética, por exemplo. A conservação auxilia muito para entender essa dinâmica da própria energia mecânica, por exemplo, dum objeto numa colisão elástica, numa inelástica”.*

Com base nessas manifestações, é possível dizer que aspectos salientes prevalecem em situações menos complexas, onde a seletividade do sujeito tem maior influência. Em contrapartida, aspectos latentes podem permanecer implícitos pelo sujeito, e o sentido atribuído ficar parcialmente velado. Por exemplo, um participante reagiu surpreso à pergunta sobre a “razão de ser” do MRUV, e respondeu: *“Caraca... Se fosse um assunto mais geral, mas para o MRUV? Na graduação tem assuntos mais relevantes do que o MRUV. De certo modo, dentro da Física, não consigo pensar uma importância [para o MRUV]”.* Nessa fala, o participante apresenta um aspecto saliente no qual o MRUV é pouco importante para a Física, por ser um tópico muito específico. Ou seja, ele impõe um padrão pessoal no qual um conteúdo precisa ser mais abrangente para ter relevância. Entretanto, o participante destacou no decorrer de suas reflexões sobre o MRUV que, apesar de não considerá-lo importante, também sentiu uma *“necessidade de estudar o MRUV, porque ajudou a nivelar alguns conceitos da Mecânica”.* Esse pode ser um indício de que o participante implicitamente considera o MRUV, em algum nível, importante para introduzir conceitos básicos da Mecânica, sinalizando um elemento do sentido conceitual inferido na análise de similitude para o MRUV, cujo o qual foi associado ao participante em questão, em tal análise.

A partir dessa discussão, fica evidente que diferentes aspectos do sentido atribuído emergem conforme a situação enfrentada pelo sujeito. Nessa perspectiva, a complexidade da atividade autorregulatória, bem como o exercício da autorreflexão perante a aprendizagem, são elementos importantes para conferir sentidos mais amplos para conceitos da Física. Quando os estudantes dedicam tempo para elaborar pensamentos e refletir sobre os conteúdos estudados, perante às situações enfrentadas, podem construir “razões de ser” mais abrangentes para esses conteúdos, o que provavelmente fariam com menor profundidade em situações objetivas, responsivas ou pouco reflexivas.

#### **6.2.4 Relações entre a abordagem histórica e os sentidos inferidos/manifestados**

A atividade de cunho histórico realizada durante o estudo do tópico de MRUV foi a leitura de um texto autoral sobre o suposto experimento da torre de Pisa. O texto consiste de uma única página, descrita em detalhes na Seção 6.1.1. Avaliamos que, devido à objetividade desse texto, a discussão emergente foi superficial. Apesar de os estudantes terem explanado com facilidade sobre as motivações de Galileu e sobre a plausibilidade do experimento da torre de Pisa, eles apresentaram dificuldades para expor o argumento geométrico dele. Nessa última atividade, as exposições dos grupos se resumiram a descrever o diagrama da Figura 6.2, e não a relacioná-lo com os argumentos de Galileu, como esperado. Mesmo dispondo da noção de que o produto entre velocidade e tempo proporciona a informação sobre distância percorrida, os estudantes não conseguiram relacionar o diagrama com uma progressão aritmética. Apesar de identificarem um crescimento de “retângulos de distância” em função do quadrado do número de “arestas de tempo” varridas no diagrama, expressaram essas ideias em termos convencionais de eixos cartesianos de tempo e velocidade, integral de área, etc. Além disso, a hipótese de Galileu, a saber, da “simplicidade” do movimento de queda, não foi mobilizado nos argumentos.

Interpretamos esses elementos como evidências de que essa abordagem histórica pontual não foi efetiva ou, pelo menos, apresentou pouco impacto na elaboração dos sentidos conceitual e fenomenológico atribuídos ao MRUV. Retomando a enunciação desses sentidos (ver Seção 6.2.1), bem como as manifestações dos estudantes (ver Quadro 6.5), não identificamos indícios de que o estudo do experimento da torre de Pisa, ou da análise do argumento geométrico, influenciaram no posicionamento ou na conotação que os participantes atribuíram ao MRUV. O primeiro elemento é alarmante, uma vez que o experimento de Pisa é similar ao que os alunos realizaram noutra atividade: um experimento sobre o modelo de queda livre em ambiente aberto (ver Quadro 6.1). É possível que os estudantes tenham encarado a discussão desse episódio como uma curiosidade histórica. Isso pode indicar um padrão pessoal, associado a uma intencionalidade ou antecipação sobre a aprendizagem. O segundo aspecto, entretanto, era esperado. A argumentação via geometria não costuma ser abordada tanto na Educação Básica,

quanto no Ensino Superior; portanto, é razoável que estudantes ingressantes apresentem dificuldades para articular essa linguagem como método de análise em contextos da Física. Ou seja, que mobilizem subfunções autorregulatórias associadas a esses elementos.

Além disso, consideramos que outras atividades referentes ao MRUV apresentaram maior impacto na elaboração dos sentidos atribuídos a esse tópico. Uma possibilidade, por exemplo, é de que a resolução de problemas tenha contribuído para o sentido conceitual, visto a frequente mobilização de conceitos como velocidade e aceleração nos problemas propostos. Nessa linha de raciocínio, as atividades experimentais podem ter influenciado fortemente nas noções expressas no sentido fenomenológico. Cabe ressaltar que não foram realizadas análises particulares para essas abordagens. Entretanto, consideramos razoável inferir um impacto incipiente da abordagem histórica neste tópico.

O resultado foi diferente para o tópico da Noção de Conservação de grandezas. Conforme apresentado na Seção 6.1, os momentos expositivos sobre esse tópico englobaram aspectos históricos, e a atividade de leitura contemplou um artigo científico (Ponczek, 2000). Esse último texto relaciona as argumentações de Leibniz e Descartes – sobre a conservação da *vis viva* e do *momentum* – com aspectos metafísicos e filosóficos. O estudo desse material, a partir das perguntas descritas na Seção 6.1, suscitou em sala de aula um diálogo rico em aspectos epistêmicos. Relações entre ciência e religião foram discutidas numa perspectiva crítica; por exemplo, um estudante refletiu dizendo que “*tentava-se manter a ideia de Deus considerando a conservação uma coisa divina... tentavam dar uma equilibrada entre ciência e religião para não se repetir o que aconteceu com Galileu*”. O professor argumentou que a história proporciona uma reinterpretação dos conceitos, exemplificando como a Primeira Lei de Newton; inicialmente proposta com argumentos religiosos, essa lei posteriormente pôde ser encarada como uma definição para o conceito de referencial. Outro(a) estudante argumenta que “*como em qualquer viés do contexto cultural, a religião vai estar incorporada na ciência; é uma relação dicotômica onde uma não precisa excluir a outra, mas as vezes podem se ajudar ou se atrapalhar*”. Nesse sentido, o professor ressaltou que o conhecimento científico se distingue de outras formas de construir conhecimento na medida em que envolve experimentação e evidência.

As questões, “para Descartes, o que se conserva e por quê?” e “o que Leibniz defendia e quais eram seus argumentos?” encaminharam, com percalços, discussões sobre a relação entre força e movimento. Em determinado momento, o professor questionou: “algo pode se auto acelerar?”, e “é preciso obrigatoriamente de uma força para existir movimento?”. Os estudantes demonstraram dificuldade em respondê-las, e uma recapitulação sobre o pensamento aristotélico foi necessária. Esse diálogo atingiu a questão da “equivalência” entre movimento constante e repouso, que, por sua vez, culminou numa breve discussão sobre o espaço absoluto. Referente à questão “quem estava certo e por quê?”, a turma elaborou o consenso de que nem Leibniz nem Descartes estavam certos ou errados, mas que compuseram argumentações válidas e distintas sobre fenômenos de mesma natureza. Por fim, foi realizada uma discussão sobre a conservação da energia, contrastando-a com a vis viva de Leibniz. Nesse diálogo, o professor ressaltou que esse conceito é relativamente recente na história da Física e que foi proposto “simultaneamente” por diferentes cientistas.

Retornando aos sentidos epistêmico e de indissociabilidade, identificados para o tópico da NC – ver Seção 6.2.2 –, consideramos que a abordagem histórica teve impacto na construção do sentido epistêmico. Fica evidente com manifestações como “*essa busca por uma conservação na Física vem de muito tempo atrás. Isso facilita o nosso estudo da Física*” e “*Deus, né?! É uma busca de respostas absolutas*”, que alguns estudantes contemplaram aspectos de generalidade, historicidade e, inclusive, religiosidade. Consideramos que esses aspectos possivelmente não seriam manifestados, ou sequer construídos, na ausência das discussões de cunho histórico e filosófico realizadas. Por outro lado, no caso do sentido de indissociabilidade, não identificamos nenhum indício de influência da abordagem histórica. Avaliamos isso com razoabilidade, uma vez que as narrativas do professor e o artigo científico estudado pontuavam a conservação como raciocínio anterior a esses conceitos. Dessa forma, as exposições conceituais visando relações matemáticas, bem como a resolução de problemas objetivos associados a essas equações, possivelmente tiveram maior influência na noção de indissociabilidade.

Com base nessas análises, respondemos à questão de pesquisa “Quais os impactos da abordagem histórica nos sentidos atribuídos aos tópicos de MRUV e NC por estudantes ingressantes num curso de Física?” da seguinte maneira: o

impacto da abordagem histórica na atribuição de sentido foi tímido quando articulada pontualmente, e apresentou impacto na construção de aspectos epistêmicos quando explorada com maior ênfase. Em particular, as atividades com HdC evocaram elementos de historicidade, generalidade e religiosidade para o tópico da NC, favorecendo a atribuição do sentido epistêmico, que atribuiu a NC a conotação de “princípio filosófico unificador” na Física.

### 6.2.5 Percepções dos estudantes sobre a abordagem histórica

Almejando responder à segunda questão de pesquisa, “Quais as relações entre esse impacto da abordagem histórica com aspectos da agência humana na atribuição de sentido a conceitos de Física?”, investigamos relações entre a percepção dos estudantes sobre as abordagens didáticas utilizadas na disciplina com o sentido atribuído por eles aos conteúdos de MRUV e NC.

Como discutido anteriormente, concluímos que a abordagem histórica teve impacto na formulação do sentido epistêmico atribuído a NC. Entretanto, podemos constatar no Quadro 6.6 que a abordagem histórica não foi considerada pelos participantes como a mais significativa na disciplina, apesar de ter sido considerada importante, sem exceções.

Quadro 6.1 – Percepções dos Participantes P sobre as atividades, conteúdos e abordagens da disciplina.

P.	Abordagem mais marcante	Conteúdo mais Marcante	Sentido (NC)	Contribuição da HdC
#1	Resolução de problemas em grupo	Nenhum em Particular	Epistêmico	Motivação e curiosidade
#2	Resolução de problemas em grupo	Nenhum em Particular	Indissociabilidade	Aprender sobre natureza da ciência
#3	HdC	MRU e MRUV	Ambos (Sentido geral)	Aprender conceitos
#4	Nenhuma em particular	Problemas clássicos da Física.	Indissociabilidade	Aprender sobre natureza da ciência
#5	Resolução de problemas em grupo	Vetores	Ambos (Sentido geral)	Aprender sobre natureza da ciência
#6	Experimentação	Problemas clássicos da Física.	Ambos (Sentido geral)	Aprender sobre natureza da ciência
#7	HdC	Nenhum em Particular	Epistêmico	Motivação e curiosidade

Participantes que indicaram a contribuição “Motivação e curiosidade” para a abordagem histórica responderam com frases como: “[A HdC] dá uma motivação, né? A matéria era básica e, por isso, pouco interessante, então a parte histórica dava uma motivação a mais, deixava interessante”. Ou seja, ressaltaram que a HdC é importante para incitar o estudante, mas não necessariamente tem impacto direto na sua aprendizagem. Essas manifestações reforçam a noção, pontuada anteriormente, de que atividades com HdC eventualmente são encaradas à título de curiosidade. Na categoria “Aprender sobre natureza da ciência”, os estudantes expressaram que a HdC possibilita discutir diferentes aspectos além da dimensão predicativa de um conteúdo, como, por exemplo, socioculturais. Um participante disse que: “A HdC é importante pra entender o contexto, por exemplo, de como os estudos da conservação foram iluminados pela igreja cristã, como a ciência “tentava se unir” com a religião para não sair do que era permitido”. Já outro participante respondeu: “Tem muitas coisas que estão aí e não sabemos o porquê. Eu achei muito interessante discutir sobre os processos pra introduzir uma nova teoria e “tirar” outra. Isso ajuda muito a ter um pensamento crítico e entender que o está bem estabelecido não é o final”. O participante que disse que a HdC contribui para “Aprender conceitos”, respondeu que: “A HdC é a explicação de muita coisa na Física. Quando foi falado do Aristóteles para calcular o MRUV e pegando os quadrados [referência a progressão geométrica e dedução de  $d \propto t^2$ ], aquilo ali é um jeito de raciocínio da Mecânica”.

Podemos observar do Quadro 6.6 que os participantes que destacaram a abordagem histórica entre as mais marcantes da disciplina apresentaram sentidos vinculados com elementos epistêmicos para a NC. Isso reforça o indício de que a abordagem histórica teve impacto nesse elemento. Entretanto, nenhum participante citou o conteúdo de NC, onde a abordagem foi essencialmente histórica, como o mais importante. Mesmo com essa aparente “baixa adesão” dos participantes à HdC, 5 dos 7 sentidos manifestados para a NC nas entrevistas possuem elementos epistêmicos, novamente reforçando o indício do impacto da HdC para aspectos do *sentido epistêmico*.

Esses aspectos supracitados indicam que, no geral, a abordagem histórica não foi colocada em posição de destaque pelos estudantes. Isso se torna contraditório ao considerar que, nas entrevistas, todos os participantes atribuíram uma importância positiva para o uso da abordagem histórica em sala de aula, vide a

Quadro 6.6, além do impacto do uso da HdC no *sentido epistêmico* inferido. Portanto, não destacar os conteúdos e as abordagens com HdC foi um resultado inesperado, que pode indicar que seus impactos permanecem implícitos para os participantes envolvidos, podendo passar despercebidos em suas autorreflexões. Por exemplo, o participante 7, ao ser perguntado sobre a "razão de ser" da NC, inicia sua resposta dizendo "É Deus, né?! [risos]", indicando que estão subjacentes a seu pensamento as discussões realizadas em sala de aula, sobre textos históricos que apresentavam argumentos metafísicos e religiosos que permearam os princípios de conservação evocados na História da Física, como nos casos das colisões elásticas. Entretanto, esse participante destaca uma importância para a HdC voltada para "a motivação e curiosidade", ou seja, não alinhada com os aspectos epistêmicos que evocou no sentido manifestado para a NC. Mesmo que esses elementos epistêmicos venham a compor o sentido que o(a) estudante atribuiu ao tópico, a visão da HdC como "combustível de estímulo" pode suprimir reflexões mais profundas sobre tal abordagem.

Novamente, as intencionalidades dos participantes podem ter sido um fator determinante. Como discutido, os padrões pessoais e as aspirações de um estudante podem impactar a maneira como ele interpreta e age nos ambientes que participa (Bandura *et al.*, 2008). Na Física, é conferido maior valor para a argumentação analítica e matemática em detrimento da argumentação filosófica e epistêmica. Por exemplo, pesquisas sobre as percepções de indivíduos sobre a Física costumam investigar e ressaltar aspectos das relações entre Física e Matemática, bem como as habilidades de resolução de problema, ao passo em que aspectos sobre a história e a filosofia da ciência são desconsiderados (Redish *et al.*, 1998; Grey *et al.*, 2008; Irving e Sayre, 2015). Isso pode ser um reflexo de uma visão geral na qual a pessoa formada em Física corresponde ao cientista habilidoso em manipular aparatos matemáticos para criar teorias complexas, porém desvinculado de questões filosóficas, metafísicas, sociais ou políticas, por exemplo.

Em síntese, pode estar ocorrendo um processo de modelação no qual estudantes procuram atingir um perfil específico de "especialista em Física". Nesse processo, o "modelo" serve como guia para a produção de padrões desejáveis no comportamento (Bandura *et al.*, 2008, p. 18) e a aprendizagem pode ser limitada caso a pessoa não identifique as características do modelo em uma atividade (Bandura *et al.*, 2018, p. 137) Assim, estudantes de Física podem não atribuir um

papel de destaque para a HdC devido a uma predisposição a valorizar outros tipos de conhecimento nessa área. O Participante 1, por exemplo, expressou que: *“Sempre achava muito interessante quando o professor trazia alguma informação histórica e dava essa contextualização, mas não diria que é a parte mais importante. Teve outras coisas que acho que me instigaram mais a aprender o conteúdo, como a parte do experimento, o uso de computadores e os exercícios”*. Esse participante também destacou que os elementos históricos, para ele, eram vistos como "curiosidades" que "instigavam interesse", apesar de ressaltar que a HdC teve um papel mais relevante para entender o conteúdo de NC.

Por outro lado, as antecipações dos participantes também podem ter impactado nesses resultados. Diferentes situações exigirão a mobilização de diferentes planos de ação e, portanto, de antecipações e processos autorregulatórios distintos (Bandura et. al, 2008). Em situações convencionais do contexto de ensino de Física, como em aulas essencialmente expositivas ou baseadas estritamente em resoluções de exercícios livrescos, mesmo estudantes iniciantes rapidamente consolidam antecipações, ou seja, imaginam os resultados possíveis de suas ações. Por exemplo, ter um bom desempenho em uma prova caso realizar todos os exercícios da lista de um livro-texto, ou não conseguir entregar listas de exercícios completas se não construir uma rotina de estudo constante. Com isso, criam uma maturidade para se autorregular em situações desse tipo. Em contraste, os mesmos estudantes iniciantes - caso dos participantes dessa pesquisa – oriundos de um ensino tradicional têm mais dificuldades para antecipar os resultados de uma abordagem desconhecida para eles, como a histórica. Com isso, podem ter pouca maturidade para autorrefletir perante essas experiências.

Esse argumento é condizente com as antecipações de aprendizado identificadas no Quadro 6.7. Conforme será discutido na Seção 6.2.6, as expectativas englobaram, essencialmente, relações com o mundo, com redes conceituais ou com formação geral. Nenhuma dessas antecipações envolveram facetas nas quais se considera que a HdC poderia contribuir. Por exemplo, não foram evidenciadas relações com o processo de construção de conhecimento, com a historicidade dos conceitos ou o (não) reconhecimento de personagens da Física. Interpretamos a inexistência de tais conexões como outro indício de que os estudantes não colocam a HdC em posição de destaque. Nesse caso, pode-se tratar

de uma evidência de que essa decisão ocorre antecipadamente no processo de ensino aprendizagem. Em outras palavras, significa que os estudantes podem subjugar a contemplação de aspectos históricos no aprendizado de conceitos de Física.

Esses resultados evidenciam que as dimensões da agência humana podem exercer forte influência no impacto da abordagem histórica. Uma interrelação entre intencionalidades, antecipações e autorreflexões de estudantes ingressantes explica, em parte, a HdC não ter sido colocada em posição de destaque, apesar do impacto identificado no sentido epistêmico. Entretanto, também nos permite argumentar que os processos da agência humana podem ser tão impactantes quanto as próprias abordagens didáticas, em especial a abordagem histórica. Desse modo, no processo de atribuição de sentido, as intencionalidades e antecipações são fatores relevantes que podem mitigar as potencialidades de atividades didáticas.

### **6.2.6 Contraste entre as antecipações de aprendizagem e os sentidos manifestados**

Com a finalidade de investigar o impacto das antecipações dos estudantes nos sentidos atribuídos, investigamos nas entrevistas as diferentes antecipações de aprendizado para um conteúdo de Física. Acessamos essa informação por meio do sétimo item do Quadro 6.2: “Que importância você pensa que tem que ter um conteúdo novo que você vai começar a estudar? Ou seja, quando você “se prepara” para aprender um conteúdo, o que você tem em mente com relação a pra que ele deveria servir?”. O Quadro 6.7 sintetiza essas antecipações, seguidas dos sentidos manifestados nas entrevistas para os conteúdos de MRUV e Noção de Conservação.

Quadro 6.1 – Antecipações de aprendizado de um conteúdo de Física e sentidos manifestados pelos Participantes (P) nas Entrevistas (E).

P.	Antecipações de aprendizagem de um conteúdo de Física	Sentido manifestado (E)	
		MRUV	NC
#1	Relação com o mundo	Fenomenológico	Epistêmico
#2	Relação com o mundo	Fenomenológico	Indissociabilidade
#3	Relação com outros conceitos	Ambos (Sentido geral)	Ambos (Sentido geral)
#4	Relação com outros conceitos Relação com o mundo	Fenomenológico	Indissociabilidade

#5	Contribuição geral para formação	Conceitual	Ambos (Sentido geral)
#6	Contribuição geral para formação	Conceitual	Ambos (Sentido geral)
#7	Contribuição geral para formação	Conceitual	Epistêmico

As antecipações denominadas “Relação com o mundo”, manifestadas por três participantes, englobam expectativas voltadas para a conexão, a identificação ou o uso dos conteúdos da Física em situações do cotidiano, podendo ser exemplificada por trechos como *“espero que eu consiga ver o conteúdo no meu cotidiano... que eu veja ele nas coisas, no mundo e não seja só números num papel”*. Como se pode observar, essa antecipação pode envolver tanto uma noção de concretude dos conceitos da Física, ou até mesmo uma perspectiva mais utilitarista dos mesmos. As antecipações rotuladas de “Relação com outros conceitos”, expressas por dois participantes, conferem expectativas onde o conteúdo estudado apresentará conexões com outros construtos da Física, tecendo uma rede conceitual mais ampla e coerente. Por exemplo, um participante manifesta que *“Todo mundo sabe que tu faz várias ‘Físicas’, a [Mecânica] Clássica, a Termodinâmica, etc... e depois tudo se une... A Física se complementa uma na outra”*. Por fim, as antecipações chamadas de “Contribuição geral para formação”, indicadas por três participantes, apresentam aspectos mais gerais e voltados para uma perspectiva de aprender para ampliar o conhecimento enquanto estudante de Física, englobando conotações variadas, que vão desde o “aprender por aprender” até o “necessário para se formar”. Por exemplo, um participante manifestou, sobre quando vai estudar um conteúdo novo: *“só consigo pensar em se formar, enquanto físicos; não é sobre a utilização dele [um conteúdo], mas tipo: “isso é necessário!”*”.

Pode-se constatar no Quadro 6.7 que os participantes que pontuaram antecipações voltadas para as “Relações com o mundo” manifestaram um sentido fenomenológico para o MRUV. Estudantes que apresentaram os outros dois tipos de antecipações identificados, seja de relacionar o conteúdo estudado com outros conceitos da Física, ou de obter uma contribuição geral para a formação em Física, manifestaram sentidos voltados para aspectos conceituais, no caso do MRUV (sentido conceitual), e sentidos mais abrangentes que contemplam ambas facetas epistêmicas e de indissociabilidade, no caso da NC. Por exemplo, o Participante 1 manifestou um sentido fenomenológico para o MRUV, ao dizer que ele se trata de uma *“simplificação que permite estudar a realidade”*, ao passo que indicou a antecipação de aprendizado *“espero que eu consiga ver o conteúdo no meu*

*cotidiano... que eu veja ele nas coisas, no mundo e não seja só números num papel*". Por outro lado, o Participante 5, ao demonstrar a expectativa de que *"só consigo pensar em se formar, enquanto físicos....tipo: "isso é necessário!"*", possivelmente antecipa que um conteúdo não necessariamente deva ter uma importância em si mesmo, mas apenas para a formação do estudante em Física e, com isso, atribuiu um sentido mais restrito para o MRUV, ao dizer que *"tem assuntos mais relevantes do que o MRUV. De certo modo, dentro da Física, não consigo pensar uma importância [para ele]"*.

Os resultados apresentados na Seção 6.2 indicam que os sentidos atribuídos para o MRUV e a NC apresentaram forte relação com as facetas da agência humana. Pudemos identificar que as as intencionalidades e as antecipações dos estudantes impactaram na construção dos sentidos. Enquanto isso, a capacidade autorreflexiva dos estudantes influenciou na medida com que esses sentidos foram expressos nos questionários e nas entrevistas. De modo geral, essas facetas estimularam a seletividade dos participantes, de modo a indicar (ou não) tanto aspectos salientes como latentes de sentidos mais amplos atribuídos para os conteúdos.

### 6.3 CONCLUSÕES DO ESTUDO 3

Nesta pesquisa, investigamos os impactos de abordagens históricas no processo de atribuição de sentido a conceitos de Física. Em particular, nos debruçamos sobre os sentidos atribuídos ao MRUV e à NC. Avaliamos as percepções de sete estudantes ingressantes num curso de licenciatura em Física sobre suas experiências numa disciplina introdutória, bem como sobre a importância da HdC no ensino de Física.

Referente à primeira questão de pesquisa (Quais são os sentidos atribuídos ao modelo de MRUV e à NC por estudantes ingressantes num curso de licenciatura em Física?), inferimos dois sentidos atribuídos para ambos os conceitos. No caso do MRUV, denominamos esses sentidos de sentido conceitual e sentido fenomenológico. Esses sentidos diferiram na percepção de utilidade conferido ao MRUV. Enquanto o primeiro é enunciado como *"o MRUV é um modelo que introduz conceitos básicos da Física; ele é importante para construir uma base conceitual para estudos futuros em Mecânica"*, o segundo é sintetizado como *"o MRUV é um*

*modelo importante para compreender fenômenos do cotidiano; ele é útil para contextualizar meu conhecimento em Física*". No caso da NC, denominamos os sentidos atribuídos de sentido de indissociabilidade e de sentido epistêmico. Esses sentidos se distinguem pelo status atribuído a NC. O primeiro sugere que a NC é um construto indissociável de outros conteúdos da Física, como energia e *momentum*, e é enunciado como: *"a noção de conservação de grandezas explica alguns conceitos da Física; é indispensável para compreender estes conceitos e, portanto, consolidar uma base de conhecimento em Física"*. Já o sentido epistêmico confere à NC o status de princípio unificador da Física, carregado de aspectos históricos, filosóficos e metafísicos, e é sintetizado como *"a noção de conservação de grandezas é um construto com forte bagagem filosófica e histórica; é importante pois é universal na Física"*.

Referente à segunda questão de pesquisa desse estudo (Considerando os diferentes aspectos da agência humana, qual é a relação entre os sentidos inferidos e os sentidos manifestados pelos estudantes?), concluímos que o uso de processos autorregulatórios possibilita a identificação de aspectos salientes que compõem os sentidos. Entretanto, os aspectos latentes desses sentidos não são acessíveis pelas análises de similitude, uma vez que cada sujeito se autorregula de modo distinto e constrói um sentido próprio para o conceito. Identificamos que esse sentido tende a ser mais abrangente do que aqueles inferidos pela análise da autorregulação, englobando elementos ocultos nos questionários. Como visto na Seção 6.2.3, por exemplo, participantes construíram sentidos para o modelo de MRUV e para a NC que incluíram aspectos de mais de um sentido inferido, constituindo um sentido mais abrangente, no qual diferentes nuances do conceito são abarcadas.

Nesse cenário, identificamos que a intencionalidade e a antecipação são fatores relevantes no processo autorregulatório subjacente à construção de sentido. De acordo com a TSC, por um lado, as percepções, motivações e expectativas dos estudantes sobre si mesmos, enquanto estudantes de Física, influenciam na maneira como constroem e enunciam seus pensamentos sobre os tópicos de estudo, como discutido ao longo da Seção 6.2. Nessa perspectiva, os estudantes são capazes de atribuírem maior atenção aos aspectos que privilegiam, subjacentes a um perfil ou a um tipo de formação acadêmica estipulada, impactando toda a atividade autorregulatória. Nesse processo de modelação, serão aspectos salientes

do sentido atribuído aqueles que corresponderem ou se alinharem a um conhecimento mais “próximo” do perfil idealizado por um estudante.

Por outro lado, os sentidos atribuídos apresentaram relação com as expectativas de aprendizado para um tópico novo. Por exemplo, estudantes que manifestaram a expectativa de que um conceito apresente uma conexão com eventos da realidade estiveram mais alinhados com o sentido fenomenológico para o MRUV.

Somado a isso, identificamos que a autorreflexão impactou na maneira como os estudantes formularam e enunciaram o sentido atribuído a um conceito. Em situações menos reflexivas, como no caso dos questionários sobre autorregulação, prevaleceram aspectos salientes do sentido construído. Foram em situações mais complexas, como na entrevista realizada, que os estudantes autorrefletiram com maior profundidade e evocaram considerações latentes e implícitas, manifestando integralmente o sentido atribuído ao conceito.

Com relação à terceira questão de pesquisa (Quais os impactos da abordagem histórica nos sentidos atribuídos aos tópicos de MRUV e NC por estudantes ingressantes num curso de Física?), concluímos, primeiramente, que uma abordagem histórica pontual provocou um impacto tímido na atribuição de sentido. Conforme discutido na Seção 6.2.3, foram identificados os sentidos conceitual e fenomenológico ao tópico de MRUV. Esses sentidos, entretanto, não apresentaram relação com a atividade de leitura do texto explorado na disciplina. Por exemplo, a discussão das motivações de Galileu e de seu argumento geométrico da proporção quadrática entre distância e tempo não foram contemplados nas manifestações dos estudantes. Nesse caso, inferimos que essa atividade foi encarada como curiosidade histórica, possivelmente associada a padrões pessoais dos estudantes.

Por outro lado, uma abordagem histórica mais abrangente favoreceu a construção do sentido epistêmico atribuído à noção de conservação de grandezas. Elementos históricos, holísticos e, inclusive, religiosos permearam as conotações dos estudantes para esse construto. Inferimos que esses aspectos foram promovidos pelas atividades de cunho histórico, em especial, a leitura de um artigo (Ponczek, 2000). Essa conclusão, em contraste com a anterior, sugere que a abordagem histórica apresenta maior potencial quando articulada continuamente no processo de ensino.

Com isso, identificamos objetivamente um impacto da abordagem histórica na aprendizagem de conceitos de Física: ela pode influenciar na atribuição de sentido estimulando aspectos holísticos, filosóficos e religiosos. Esse resultado corrobora com constatações referentes ao papel da HdC de “dar sentido” ao conhecimento (Martins, 2007; Dibattista & Morgese, 2013), conforme discutido no Estudo 1 da presente dissertação (ver Capítulo 2). Delimitando o sentido como uma dimensão conotativa, um posicionamento perante um tópico, concluímos que esse impacto se torna mais evidente.

Ressaltamos, entretanto, que apesar do evidente impacto da HdC na atribuição do sentido epistêmico à NC, esse foi o único sentido, entre os quatro identificados, que teve aparente influência dessa abordagem. Essa evidência foi, no mínimo, intrigante, e a investigação sobre a percepção dos estudantes sobre a HdC indicou que essa abordagem não foi colocada em posição de destaque por eles (vide seções 6.2.4 e 6.2.5). Dessa análise, em especial, inferimos que as potencialidades da abordagem histórica podem ser mitigadas na medida em que as intencionalidades dos estudantes reforçam ou perspectivas utilitaristas, ou perfis idealizados de um(a) físico(a), nos quais se sobrevaloriza aspectos analíticos e matemáticos. Nesse processo de modelação, se reduz a atenção para elementos filosóficos e epistêmicos – justamente aqueles impulsionados pela abordagem histórica – que não correspondem ao perfil idealizado. Esses padrões pessoais dos estudantes podem restringir a aprendizagem de conceitos à mobilização operatória e simbólica. Com isso, suas intencionalidades (e antecipações) podem limitar a potencialidade de discussões provenientes da abordagem histórica.

Desse modo, respondemos à questão de pesquisa “Quais as relações entre esse impacto da abordagem histórica com aspectos da agência humana na atribuição de sentido a conceitos de Física?”. Concluímos que processos internos aos estudantes podem ser tão impactantes quanto uma abordagem didática, em particular a histórica. Nessa pesquisa, identificamos que os quatro processos da agência humana impactaram de modo inter-relacionado a maneira com que estudantes encaram situações de aprendizado. Essas relações envolveram o nível de importância que atribuíram à abordagem didática, bem como os resultados que esperavam (ou não) dela. Dessa forma, a capacidade de autorregulação e de autorreflexão em situações com tal abordagem podem ficar subjacentes a esses

processos prévios. No caso da abordagem histórica, identificamos uma tendência de não centralização dessa abordagem no processo de aprendizagem, mesmo com a existência de impactos efetivos da HdC na atribuição de sentido.

De modo geral, esses processos de intencionalidade, antecipação e autorreflexão influenciaram na seletividade dos estudantes, fazendo com que, num processo de modelação em situações distintas, certos aspectos fossem priorizados em detrimento de outros. Em outras palavras, os resultados permitem sugerir que os alunos “aprenderam mais daquilo que queriam aprender”. Isso pode indicar que o impacto de uma abordagem didática pode ser mitigado por aspectos que não são diretamente acessíveis ao docente.

A Figura 6-5 apresenta um esquema das relações entre sentido, agência humana e História da Ciência discutidas no Estudo 3. Entendemos que a atribuição de sentido é resultado de um processo de agência humana dirigido por mecanismos autorregulatórios. Essa atividade autorregulatória, entretanto, é impactada tanto por aspectos prévios, associados às intencionalidades e antecipações de um estudante, quanto por aspectos novos promovidos por situações novas. No caso de atividades pedagógicas, identificamos um “contraste” entre esses aspectos: de um lado, apresentam-se os objetivos e expectativas de aprendizado do(s) estudante(s) e, de outro lado, as potencialidades de uma abordagem didática e os objetivos e expectativas do professor que a articula. Entendemos que o impacto de uma abordagem pode estar associado ao (des)alinhamento desses aspectos. No caso do Estudo 3, como discutido, consideramos que o impacto tímido e o não destacamento da História da Ciência foi decorrente, principalmente, duma predisposição dos estudantes a sobrevalorizarem aspectos comumente desalinhados à essa abordagem. Além disso, também compreendemos que as diferentes facetas do sentido atribuído por um estudante a um conceito serão manifestadas conforme o nível de autorreflexão demandado por uma situação; situações mais objetivas tendem a estimular a supressão de aspectos menos relevantes ao sujeito, ao passo que situações mais abertas ampliam a possibilidade de esses aspectos serem manifestados em conjunto com os aspectos mais relevantes. Essa autorreflexão, por outro lado, pode culminar numa atualização dos aspectos prévios dos estudantes, haja vista seu caráter de ponto crítico da agência humana.

Figura 6-15 – Síntese das relações entre sentido, agência humana e História da Ciência a partir das discussões do Estudo 3.



Fonte: elaboração própria.

Apontamos como limitação do Estudo 3, principalmente, a baixa quantidade de participantes envolvidos. Mais participantes, naturalmente, poderiam expor diferentes posicionamentos, talvez mais amplos, sobre a abordagem histórica. Esse baixo número de participantes condiz com o contexto restrito da turma de ingressantes analisada. Estudantes mais avançados potencialmente relevariam outros planos de antecipações e intencionalidades, o que conduziria a uma análise diferente. Entretanto, um ensino tradicional, ainda imperativo, permite argumentar que as visões sobre o uso da HdC possivelmente se estendem às Ciências da Natureza. Desse modo, sugerimos o investimento em pesquisas sobre os impactos dos aspectos da agência humana nessa área de ensino como um todo. Esses estudos podem contribuir para a investigação dos sentidos de conceitos, mas

também dos impactos de diferentes abordagens didáticas. Em particular, no presente trabalho, a abordagem histórica foi analisada numa perspectiva interna e de curta implementação, na dimensão de semanas. É razoável o questionamento sobre os impactos da HdC ao longo de períodos maiores, como semestres acadêmicos, ou até mesmo anos. As percepções dos estudantes são duradouras e inflexíveis? Os sentidos que atribuem aos conceitos e a abordagem histórica permanecem ao longo do tempo ou são mutáveis? Se mutáveis, o são em que medida? Consideramos que essas questões em aberto são suscetíveis de análise perante o referencial da agência humana, na perspectiva da TSC.

## 7 CONCLUSÕES

Nesta dissertação, investigamos as contribuições da História da Ciência para o ensino de Física. Tivemos como objetivos: investigar o estado atual das pesquisas empíricas sobre o uso da HdC no ensino de Física; investigar as implicações da noção de sentido de Franco *et al.* (2024), analisando-a como uma dimensão conotativa da aprendizagem conceitual; investigar a atribuição de sentido enquanto um processo da agência humana, a partir da Teoria Social Cognitiva de Bandura (2008); e avaliar os impactos da HdC na atribuição de sentido a esses conceitos, na perspectiva da agência humana.

No Estudo 1 (Capítulo 2), analisamos trinta e duas pesquisas empíricas publicadas entre os anos de 2012 e 2022 envolvendo o uso da abordagem histórica em aulas de Física. Em um recorte de cento e um artigos que abordam a história no ensino de Física, a diminuta parcela que possui dados empíricos indica que essa linha de pesquisa permanece hegemonicamente teórica. Nos estudos empíricos, identificamos, principalmente, um desalinhamento entre os objetivos e as conclusões das pesquisas; em particular, a aprendizagem conceitual foi constatada em cerca do dobro de investigações em comparação com a quantidade de artigos em que foi tomada como objetivo de investigação. Nesse ínterim, encontramos diversos artigos reforçando a noção geral de que a HdC contribui para “atribuir sentido” ao conhecimento, incluindo conceitos científicos (e.g., Stein *et al.*, 2015; Bachtold & Munier, 2018; Alisir & Irez 2020). Com isso, concluímos que, apesar de a HdC (aparentemente) contribuir para diferentes dimensões da aprendizagem, incluindo a de conceitos e, em especial, na atribuição de sentido a eles, ela vem sendo mais relatada como “efeito colateral”, do qual não se conhecem os impactos dessa abordagem na dimensão conceitual. Ressaltamos que essas conclusões se limitam às pesquisas internacionais; possivelmente uma parcela considerável de contribuições da pesquisa brasileira (e de outras nacionalidades) não foram analisadas. Estudos futuros precisam analisar o estado de arte da pesquisa nacional sobre o uso da HdC no ensino de Física.

Passamos então, nos estudos empíricos desta dissertação, a investigar o impacto da HdC na atribuição de sentido a conceitos de Física. Para essa finalidade, inicialmente, no Estudo 2, avaliamos uma metodologia de inferência de sentidos,

assim como caracterizamos o sentido como uma dimensão conotativa da aprendizagem (Franco *et al.*, 2024) e o relacionamos com outros fatores educacionais. Partindo da premissa de que uma pessoa atribui sentido na tentativa intencional de assimilar um conjunto de situações, recorreremos à autorregulação da agência humana (Bandura *et al.*, 2008) como referencial teórico para explicar esse processo. No contexto de um minicurso *online* envolvendo mais de 270 participantes, investigamos os sentidos atribuídos ao conceito de Dualidade Onda-Partícula (DOP) por meio de uma análise de similitude das respostas a um questionário focado na identificação das subfunções autorregulatórias – auto-observação, autoavaliação e autorreação – mobilizadas nas experiências de aprendizagem. Nessa análise, traçamos dois perfis de atividade autorregulatória e, com isso, inferimos os sentidos essencialista e instrumentalista para a DOP. O essencialista, atribuído por 85 participantes, considera esse tópico básico e fundamental para entender a natureza em sua essência e, portanto, esteve associado a reações mais positivas dos participantes. Já o instrumentalista, atribuído por 33 participantes, vai na direção oposta: considera a DOP um construto muito avançado e restrito à Mecânica Quântica, envolvendo reações mais negativas dos participantes.

Os dois sentidos encontrados para a DOP não apresentaram correlação estatística com a área de formação dos participantes, indicando que tanto uma pessoa das exatas quanto de outra área pode atribuir a mesma conotação ao conceito. O mesmo foi encontrado para o nível de escolaridade, exceto dentro do grupo das exatas, onde indivíduos em nível de graduação apresentaram maior inclinação para o sentido essencialista. Somado a isso, esses sentidos apresentaram correlações fracas com a performance em um teste padronizado sobre a dualidade onda-partícula, uma vez que ambos os grupos melhoraram significativamente no teste final, com uma diferença de apenas 17%. Nessa perspectiva, o sentido pode ser caracterizado como uma dimensão própria da aprendizagem conceitual, sendo pouco prevista por outros fatores.

No Estudo 3, retornamos a análise para os impactos da História da Ciência no processo de atribuir sentido. Consideramos necessário, para esse fim, englobar outros aspectos da agência humana para compreender esse mecanismo. Com isso, optamos por acompanhar uma disciplina introdutória do curso de Licenciatura em Física (noturno) da UFRGS durante cerca de dois meses. Em particular,

investigamos os sentidos atribuídos aos tópicos de Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) e Noção de Conservação de grandezas (NC). Complementamos as análises de similitude, das quais inferimos dois sentidos para cada tópico, com uma entrevista semi estruturada para investigar o impacto da HdC nesses sentidos. As conotações para o MRUV diferiram no grau de utilidade, na qual ou ele é útil para introduzir conceitos básicos (sentido conceitual), ou útil para contextualizar o conhecimento em fenômenos do cotidiano (sentido fenomenológico). Já para a NC, os sentidos diferiram em status: no sentido de indissociabilidade, ele tem status de explicação, onde não há nexos em falar de conservação sem remeter a grandezas como energia e *momentum*, por exemplo, e vice-versa; no sentido epistêmico, a NC é um construto com status de princípio unificador, holístico. Nesse último sentido, identificamos um impacto direto das atividades de abordagem histórica: tanto as respostas aos questionários como as manifestações dos estudantes remeteram a elementos dessas atividades, como, por exemplo, a citação de fatores religiosos para justificar uma busca por um princípio de conservação.

Dessa forma, no Estudo 3, considerando o sentido como dimensão conotativa, concluímos que a HdC impacta na atribuição de sentido por meio da promoção de aspectos holísticos, filosóficos, epistêmicos e até religiosos nas conotações dos estudantes. Entretanto, identificamos no Estudo 3 que esse impacto foi tímido numa abordagem pontual, e parcial numa abordagem contínua. Mais que isso, concluímos que outros aspectos da cognição e do comportamento puderam ser tão impactantes quanto a abordagem histórica, de modo que seus efeitos possam a ser mitigados na construção de sentidos a conceitos de Física.

Tomamos como evidência disso o fato de que os participantes do Estudo 3 não colocaram a HdC em posição de destaque nas experiências da respectiva disciplina. As intencionalidades de estudantes ingressantes, oriundos de um provável ensino tradicional, são reforçadas por um “perfil de físico” que sobrevaloriza aspectos analíticos/matemáticos em detrimento de fatores epistêmicos/filosóficos, esses últimos, como constatado, impulsionados pela abordagem histórica. Além disso, obtivemos indícios de que as expectativas de aprendizado (antecipações) tiveram relação com os sentidos manifestados, como no caso do sentido fenomenológico para o MRUV e as expectativas de aprendizado “Relações com o mundo”. Não obstante, os diferentes níveis de autorreflexão, conforme a abertura de

uma situação, impactam em quais elementos do sentido atribuído serão manifestados. Dessa forma, a não-centralização da HdC, somada ao fator de supressão de possíveis aspectos do sentido, permitem discutir que o impacto da abordagem histórica pode ser reduzido por esses fatores prévios e internos à cada estudante.

Sendo as intencionalidades e as antecipações influentes na atribuição de sentido, impactando os mecanismos autorregulatórios e autorreflexivos dos sujeitos, torna-se relevante, na atividade docente, investigar tais elementos. Elencar as intenções mais importantes para os estudantes, seus objetivos futuros, bem como as expectativas de resultado que projetam para as diferentes atividades, pode auxiliar na organização e no aprimoramento de sequências didáticas. Esse elenco se constitui, inclusive, num momento importante de intervenção do professor, na medida em que uma intencionalidade incipiente pode ser ampliada. Não se deseja de um graduando em Física, por exemplo, que sua formação se restrinja à performance em concursos. Respeitando essa intenção, o professor que a identifica pode sugerir mais elementos, implicando em novas visões e, conseqüentemente, atualizando-a. No mesmo sentido, uma expectativa de resultado negativa para uma abordagem/atividade pode ser discutida de modo a desconstruir/desmistificar tal sentimento.

A negociação dessas intencionalidades e antecipações constitui um mecanismo de explicitação do contrato didático (Brousseau, 2011). Conforme analisado por Ricardo *et al.* (2003), as concepções de mundo e de Ciência influenciam os objetivos de um curso e as decisões didáticas do professor. Nessa perspectiva, o diálogo sobre os aspectos da agência humana possibilita superar o obstáculo da implicitude nas relações pedagógicas, facilitando tanto os alunos, quanto os professores, a “entrarem no jogo” (Pinto, 2003). Não se trata apenas de contemplar o saber cotidiano dos alunos, o senso comum; mas sim de atingir um compromisso mútuo de aproximar as intencionalidades do professor com a dos estudantes. O “entrar no jogo” significa, então, a ajustar o programa didático às intencionalidades consensuais, considerando, também, as antecipações dos alunos perante as diferentes abordagens didáticas.

Como ressaltado nos capítulos 5 e 6, essa dissertação envolve estudos exploratórios, onde inicialmente procuramos avaliar uma metodologia de inferência de sentidos e, posteriormente, investigar esse processo em maior profundidade.

Para isso, nossa pesquisa se debruçou sobre dois contextos muito distintos: um abrangente e de curta duração (Estudo 2), e outro estrito e de longa duração (Estudo 3). Existe uma dificuldade inerente de comparação entre os dois estudos. Por exemplo, em que medida os sentidos inferidos no Estudo 2 são mais (ou menos) fidedignos do que os do Estudo 3? De qualquer modo, ressaltamos que as análises realizadas, em especial, a análise de similitude, culminaram em inferências de sentidos prototípicos, com base em perfis de atividade autorregulatória. Esses sentidos, como indica o Estudo 3, nem sempre correspondem integralmente às percepções dos estudantes, devido à influência de outros aspectos da agência humana, porém englobam os aspectos-chave que são incorporados por eles em diferentes níveis. Portanto, foi uma limitação dessa dissertação não ter encontrado um balanço entre as conclusões provenientes de testes estatísticos com sentidos prototípicos (Estudo 2) e as conclusões provenientes de uma análise qualitativa com base nos sentidos manifestados (Estudo 3). É razoável se questionar, por exemplo, se as intencionalidades ou antecipações apresentam correlação com o desempenho em testes, mesmo que o sentido apresente correlação apenas fraca.

Outra limitação desse estudo se refere à análise superficial do impacto de diferentes abordagens históricas no ensino de Física. Tanto na revisão bibliográfica do Estudo 1, quanto na investigação de sentidos após aulas com abordagem histórica no Estudo 3, não adentramos na discussão do “tipo de abordagem histórica” que foi articulada nas implementações didáticas. Como se sabe, a HdC pode ser integrada ao ensino sob diferentes perspectivas. Por exemplo, pode-se realizar atividades com fontes primárias ou secundárias. Também é possível organizar narrativas históricas internalistas, isto é, limitadas somente à produção acadêmica de um ou mais cientistas, ou externalistas, associadas também ao contexto sociopolítico/cultural dessa produção. Essas abordagens possibilitam diálogos distintos, abrangendo tópicos de naturezas diferentes. Não é possível discutir, a partir dos nossos estudos, sobre o impacto dessas diferentes abordagens na atribuição de sentidos. Nossas conclusões indicam, incipientemente, que a HdC apresenta efeitos limitados quando articulada com outras abordagens didáticas, e possivelmente nenhum efeito quando utilizada pontualmente.

Visto essas limitações, consideramos pertinente investir em estudos que analisem a relação do sentido de conceitos com mais parâmetros educacionais, e de diferentes dimensões. Por exemplo, visto que o sentido atribuído se relaciona

com a autorreação (vide Estudo 2), em que medida o sentido afeta ou é afetado pelo nível de engajamento dos estudantes? Ou ainda, existe alguma relação entre sentido e atitude em relação à Ciência? Por outro lado, considerando a influência de fatores prévios aos sujeitos na construção de sentido, como as intencionalidades e as antecipações, julgamos necessário novas pesquisas sobre o nível de impacto de diferentes abordagens didáticas. Como discutido anteriormente, na presente dissertação, identificamos um resultado tímido da HdC, quando articulada em conjunto com outras abordagens. Pesquisas em contextos de predominância da abordagem histórica, ou de qualquer outra abordagem, possibilitariam discutir a questão da efetividade dessas diferentes propostas de ensino.

## REFERÊNCIAS

- ABBAGANO, Nicola. **Dicionário de Filosofia**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.
- ALBAGLI, S. Divulgação científica: Informação científica para cidadania. **Ciência da Informação**, v. 25, n. 3, 1996.
- ALISIR, Z. N.; IREZ, S. The Effect of Replicating Historical Scientific Apparatus on High School Students' Attitudes Towards Science and Their Understanding of Nature of Science. **Science & Education**, v. 29, n. 5, p. 1201–1234, 1 out. 2020.
- ALLCHIN, D. Beyond the Consensus View: Whole Science. **Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education**, v. 17, n. 1, p. 18–26, 2 jan. 2017.
- ALVES-BRITO, A. et al. Histórias (In)visíveis nas Ciências. I. Cheikh Anta Diop: um corpo negro na Física. **Revista da Associação Brasileira de Pesquisador s Negrs - ABPN**, v. 12, p. 292–318, 1 fev. 2020.
- ALVES-BRITO, A. Cosmologias racializadas: processos políticos e educativos anti(racistas) no ensino de Física e Astronomia. **Roteiro**, v. 46, p. e26279–e26279, 8 set. 2021.
- ASBAHR, F. DA S. F. Sentido pessoal, significado social e atividade de estudo: uma revisão teórica. **Psicologia Escolar e Educacional**, v. 18, p. 265–272, ago. 2014.
- AZEVEDO, J. S. A Biblioteca Alexandrina em Atividades Problematizadoras no Ensino de Física. **Revista Insignare Scientia - RIS**, v. 6, n. 4, p. 156–175, 11 jul. 2023.
- AZEVEDO, M.; BORBA, R. C. DO N. Educação em Ciências em tempos de pós-verdade: pensando sentidos e discutindo intencionalidades. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1551–1576, 16 dez. 2020.
- BÄCHTOLD, M.; MUNIER, V. Teaching energy in high school by making use of history and philosophy of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 56, n. 6, p. 765–796, 2019.
- BAGDONAS, A.; SILVA, C. C. Enhancing Teachers' Awareness About Relations Between Science and Religion. **Science & Education**, v. 24, n. 9, p. 1173–1199, 1 nov. 2015.
- BALTA, N.; MASON, A. J.; SINGH, C. Surveying Turkish high school and university students' attitudes and approaches to physics problem solving. **Physical Review Physics Education Research**, v. 12, n. 1, p. 010129, 12 abr. 2016.

BANDURA, A. **Social foundations of thought and action: A social cognitive theory**. Englewood Cliffs, NJ, US: Prentice-Hall, Inc, 1986. p. xiii, 617

BANDURA, A. Social cognitive theory of self-regulation. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 50, n. 2, p. 248–287, 1991.

BANDURA, A.; AZZI, R. G.; POLYDORO, S. **Teoria Social Cognitiva: conceitos básicos**. Porto Alegre: Artmed, 2008.

BARBOSA, A. R. Divulgação científica na internet: criatividade e (re)produção didática no trabalho de ‘criadores de conteúdo online’ de física para Youtube e Tiktok. 12 jun. 2023.

BARCELLOS, M. Ciência não autoritária em tempos de pós-verdade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1496–1525, 16 dez. 2020.

BATES, S. P. et al. How attitudes and beliefs about physics change from high school to faculty. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 7, n. 2, p. 020114, 8 nov. 2011.

BEVZ, V.; DMYTRIENKO, O. Students’ Perceptions of the History of Science and Technology Course at Teacher Training University. **Advanced Education**, 2020.

BILHALBA, L. P. **As potencialidades de uma intervenção pedagógica ancorada na autorregulação da aprendizagem para a formação docente em Física**. doctoralThesis—[s.l.] Universidade Federal de Pelotas, 26 mar. 2019.

BØE, M. V.; HENRIKSEN, E. K.; ANGELL, C. Actual versus implied physics students: How students from traditional physics classrooms related to an innovative approach to quantum physics. **Science Education**, v. 102, n. 4, p. 649–667, 2018.

BOTELHO, L.; CUNHA, C.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e Sociedade**, v. 5, p. 121–136, 2 dez. 2011.

BROGLIE, L. DE. **New Perspectives In Physics**. [s.l.] Basic Books, 1962.

BROUSSEAU, G. La théorie des situations didactiques en mathématiques. **Éducation et didactique**, n. 5–1, p. 101–104, 30 maio 2011.

CAJORI, F. The Pedagogic Value of the History of Physics. **The School Review**, v. 7, n. 5, p. 278–285, 1899.

CAMARGO, B. V.; JUSTO, A. M. IRAMUTEQ: Um software gratuito para análise de dados textuais. **Temas em Psicologia**, v. 21, n. 2, p. 513–518, 2013.

CARVALHO, A. T. G. DE et al. A linguagem, a epistemologia e o ensino conceitual da dualidade onda-partícula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 45, p. e20220339, 7 abr. 2023.

CASSIANI, S.; VON LINSINGEN, I. Freirean inspirations in solidary internationalism between East Timor and Brazil in science education. **Cultural Studies of Science Education**, v. 18, n. 1, p. 115–141, 1 mar. 2023.

CHEN, S.-Y.; CHEN, C.-H.; LIU, S.-Y. History of Science Reading Materials as Everyday Homework to Improve Middle School Students' Epistemological Beliefs about Science. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 20, n. 1, p. 69–92, 1 nov. 2022.

COELHO, R. L. On the Concept of Energy: Eclecticism and Rationality. **Science & Education**, v. 23, n. 6, p. 1361–1380, 1 jun. 2014.

COMTE, A. **Curso De Filosofia Positiva**. 1. ed. Buenos Aires: Need, 2004.

COSTA, W. A. **A representação social de alunos do ensino médio sobre aulas de química vista a partir de redes complexas**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Espírito Santo, 2024.

CRESWELL, J. W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens**. 3 ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

CRUZ, M. Teorias acerca do conhecimento humano segundo Karl Popper. **Revista Educação Pública**, v. 8, n. 46, 2 dez. 2008.

DA FONSECA MORAES BATISTA, R.; SILVA, C. C. When Things Go Wrong. **Science & Education**, v. 28, n. 9, p. 1135–1151, 1 dez. 2019.

DAANE, A. R.; DECKER, S. R.; SAWTELLE, V. Teaching About Racial Equity in Introductory Physics Courses. **The Physics Teacher**, v. 55, n. 6, p. 328–333, 1 set. 2017.

DE HOSSON, C.; DÉCAMP, N. Using Ancient Chinese and Greek Astronomical Data: A Training Sequence in Elementary Astronomy for Pre-Service Primary School Teachers. **Science & Education**, v. 23, n. 4, p. 809–827, 1 abr. 2014.

DIBATTISTA, L.; MORGESE, F. Introducing History (and Philosophy) of Science in the Classroom: A Field Research Experience in Italy. **Science & Education**, v. 22, n. 3, p. 543–576, 1 mar. 2013a.

DIBATTISTA, L.; MORGESE, F. Introducing History (and Philosophy) of Science in the Classroom: A Field Research Experience in Italy. **Science & Education**, v. 22, n. 3, p. 543–576, 1 mar. 2013b.

DIDIŞ, N.; MILLER, K. Students' mental models of wave-particle duality. **Canadian Journal of Physics**, v. 98, 27 jun. 2019.

DOWD, J. E.; ARAUJO, I.; MAZUR, E. Making sense of confusion: Relating performance, confidence, and self-efficacy to expressions of confusion in an introductory physics class. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 11, n. 1, p. 010107, 3 mar. 2015.

DUARTE, N. Formação do indivíduo, consciência e alienação: o ser humano na psicologia de A. N. Leontiev. **Cadernos CEDES**, v. 24, p. 44–63, abr. 2004.

EDDINGTON, A. S. **The nature of the physical world**. [s.l.] New York, The Macmillan Company; Cambridge, Eng., The University Press, 1928.

EL-HANI, C. N. Mendel in Genetics Teaching: Some Contributions from History of Science and Articles for Teachers. **Science & Education**, v. 24, n. 1, p. 173–204, 1 jan. 2015.

ERDURAN, S.; DAGHER, Z. **Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education: Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories**. [s.l: s.n.].

ERDURAN, S.; DAGHER, Z. R. **Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education: Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014b. v. 43

ESHACH, H. et al. Introducing Taiwanese undergraduate students to the nature of science through Nobel Prize stories. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 9, n. 1, p. 010116, 25 abr. 2013.

ESTIGARRIBIA, L. et al. Co-design of a Teaching–Learning Sequence to Address COVID-19 as a Socio-scientific Issue in an Infodemic Context. **Science & Education**, v. 31, n. 6, p. 1585–1627, 1 dez. 2022.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **The Feynman Lectures on Physics, Volume I: Mainly Mechanics, Radiation, and Heat**. New York: Basic Books, 2011.

FIELD, A. **Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics**. [s.l.] SAGE Publications, 2024.

FIELD, A. P. **Discovering statistics using IBM SPSS statistics**. Fifth edition ed. London: SAGE Publications, 2018.

FIORESI, C. A.; SILVA, H. C. DA. Ciência popular, divulgação científica e Educação em Ciências: elementos da circulação e textualização de conhecimentos científicos. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 28, p. e22049, 14 nov. 2022.

FISCHHOFF, B.; SCHEUFELE, D. A. The science of science communication. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. supplement\_3, p. 14031–14032, 20 ago. 2013.

FLUMINHAN, C. S. L.; MURGO, C. S. Autorregulação acadêmica e estratégias de aprendizagem avaliadas em estudantes do ensino fundamental. **Psicologia Escolar e Educacional**, v. 23, p. e189190, 5 ago. 2019.

FOUAD, K. E.; MASTERS, H.; AKERSON, V. L. Using History of Science to Teach Nature of Science to Elementary Students. **Science & Education**, v. 24, n. 9, p. 1103–1140, 1 nov. 2015.

FRANCO, B. V. DO E.; ESPINOSA, T.; HEIDEMANN, L. A. Fui reprovado! E agora? Um estudo das relações entre os sentidos atribuídos às reprovações e as intenções de persistência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 41, n. 1, p. 224–257, 1 ago. 2024.

FRISON, L. M. B. Autorregulação da aprendizagem: abordagens e desafios para as práticas de ensino em contextos educativos. **Revista de Educação PUC-Campinas**, v. 21, n. 1, p. 1–17, 4 maio 2016.

GALILEI, G. **Dialogues concerning two new sciences**. [s.l.] New York Macmillan, 1914.

GALILI, I. **The history of physics as a tool of teaching**. In: VICENTINI, M.; SASSI, E. (Eds.). Connecting research in physics education with teachers education. p. 1–11. International Commission on Physics Education, 2008.

GANDOLFI, H. E. “It’s a lot of people in different places working on many ideas”: Possibilities from global history of science to Learning about nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 58, n. 4, p. 551–588, 2021.

GANTSEVICH, S. V. Phases as Hidden Variables of Quantum Mechanics. arXiv, , 14 jul. 2021. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/2108.07159>>. Acesso em: 10 jul. 2024

GARIK, P. et al. Teaching the Conceptual History of Physics to Physics Teachers. **Science & Education**, v. 24, n. 4, p. 387–408, 1 maio 2015.

GOVENDER, N.; MUDZAMIRI, E. Incorporating indigenous artefacts in developing an integrated indigenous-pedagogical model in high school physics curriculum: views of elders, teachers and learners. **Cultural Studies of Science Education**, v. 17, n. 3, p. 827–850, 1 set. 2022.

GRAY, K. E. et al. Students know what physicists believe, but they don’t agree: A study using the CLASS survey. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 4, n. 2, p. 020106, 14 nov. 2008.

GRAYSON, D. J. Physics education for 21st century graduates. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1512, n. 1, p. 012043, abr. 2020.

GURGEL, I.; PIETROCOLA, M.; WATANABE, G. The role of cultural identity as a learning factor in physics: a discussion through the role of science in Brazil. **Cultural Studies of Science Education**, v. 11, 3 dez. 2014.

HANSSON, L. et al. Rutherford visits middle school: a case study on how teachers direct attention to the nature of science through a storytelling approach. **Physics Education**, v. 54, n. 4, p. 045002, abr. 2019.

HAZARI, Z.; CASS, C.; BEATTIE, C. Obscuring power structures in the physics classroom: Linking teacher positioning, student engagement, and physics identity development. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 52, n. 6, p. 735–762, 2015.

HENKE, A.; HÖTTECKE, D. Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. **Science & Education**, v. 24, n. 4, p. 349–385, 1 maio 2015.

HERMAN, J. L.; GOLAN, S. Effects of Standardized Testing on Teachers and Learning--Another Look. 1990.

HERRY, E.; GÖNÜLTAŞ, S.; MULVEY, K. L. Predictors of college students' reasoning and responses to gender-based social exclusion. **Social Psychology of Education**, v. 26, n. 2, p. 405–431, 1 abr. 2023.

HEUSY, F.; GAULKE, A. M.; ROCHA, C. R. UMA VISÃO GERAL DOS RECENTES TRABALHOS REALIZADOS SOBRE A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD. **Revista Ciências & Ideias ISSN: 2176-1477**, p. 155–180, 9 dez. 2022.

HOLTON, G. The Project Physics Course, Then and Now. **Science & Education**, v. 12, n. 8, p. 779–786, 1 nov. 2003.

HUNTER, G.; WADLINGER, R. L. P. Physical Photons: Theory, Experiment and Implications. Em: HONIG, W. M.; KRAFT, D. W.; PANARELLA, E. (Eds.). **Quantum Uncertainties: Recent and Future Experiments and Interpretations**. Boston, MA: Springer US, 1987. p. 331–343.

INCE, E. An Overview of Problem Solving Studies in Physics Education. **Journal of Education and Learning**, v. 7, n. 4, p. 191–200, 2018.

IRVING, P. W.; SAYRE, E. C. Becoming a physicist: The roles of research, mindsets, and milestones in upper-division student perceptions. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 11, n. 2, p. 020120, 23 set. 2015.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A.; SCHIFFER, H. History of Science in Physics Teaching. **Science & Education**, v. 30, n. 3, p. 609–638, 1 jun. 2021.

JUNIOR, O. P. **Conceitos de Física Quântica**. 4ª edição ed. [s.l.] Editora Livraria da Física, 2020.

KAISER, D. **Pedagogy and the Practice of Science**. Cambridge: MIT Press, 2005.

KARAM, R.; KREY, O. Quod erat demonstrandum: Understanding and Explaining Equations in Physics Teacher Education. **Science & Education**, v. 24, n. 5, p. 661–698, 1 jul. 2015.

KATO, D. S.; GALAMBA, A.; MONTEIRO, B. A. P. Decolonial scientific education to combat 'science for domination'. **Cultural Studies of Science Education**, v. 18, n. 1, p. 217–235, 1 mar. 2023.

KIM, M.; CHEONG, Y.; SONG, J. The Meanings of Physics Equations and Physics Education. **Journal of the Korean Physical Society**, v. 73, n. 2, p. 145–151, 1 jul. 2018.

KOLOKOURI, E.; PLAKITSI, K. Color Visions from the Past in Science Teaching Within a Cultural Historical Activity Theory (CHAT) Context. **World Journal of Education**, v. 2, n. 3, p. 2, 14 jun. 2012.

KOUMARA, A. History of Pressure Implemented in a Nature of Science Professional Development Program for Science Teachers. **Science & Education**, 7 nov. 2022.

KRAJCIK, J.; SHIN, N. Student Conceptions, Conceptual Change, and Learning Progressions. Em: **Handbook of Research on Science Education**. [s.l.] Routledge, 2023.

LABARCA, Y. A. M.; TEIXEIRA, R. R. P. DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA, ENSINO DE FÍSICA E A CIÊNCIA ENVOLVIDA NO ESTUDO DE SATÉLITES. **Revista Prática Docente**, v. 6, n. 2, p. e037–e037, 31 ago. 2021.

LEONE, M. History of Physics as a Tool to Detect the Conceptual Difficulties Experienced by Students: The Case of Simple Electric Circuits in Primary Education. **Science & Education**, v. 23, n. 4, p. 923–953, 1 abr. 2014.

LEVRINI, O. et al. Meeting the Discipline-Culture Framework of Physics Knowledge: A Teaching Experience in Italian Secondary School. **Science & Education**, v. 23, n. 9, p. 1701–1731, 1 set. 2014.

LEWTHWAITE, B.; MURRAY, J.; HECHTER, R. Revising teacher candidates' views of science and self: Can accounts from the history of science help? **International Journal of Environmental and Science Education**, v. 7, n. 3, p. 379–407, 2012.

LIMA JUNIOR, P. et al. EXCELÊNCIA, EVASÃO E EXPERIÊNCIAS DE INTEGRAÇÃO DOS ESTUDANTES DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 22, p. e12165, 30 nov. 2020.

LIMA JUNIOR, P. **Métodos quantitativos da pesquisa em educação: uma introdução baseada em linguagem R**. [s.l.] Portal de Livros da UnB, 2023.

LIMA, N.; CAVALCANTI, C.; OSTERMANN, F. Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200270, 11 dez. 2020.

LIMA, N. W. Michael Matthews and the development of History, Philosophy and Science Teaching: thirty years after 'the present rapprochement'. **Review of Science, Mathematics and ICT Education**, v. 15, n. 2, p. 101–121, 2021.

LIMA, N. W.; HEIDEMANN, L. A.; BECKER, M. H. T. É possível promover aprendizagem sobre Mecânica Quântica em projetos de divulgação científica? Análise estatística sobre a potencialidade de um curso de extensão virtual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, p. e20240062, 30 ago. 2024.

LIMA, N. W.; NASCIMENTO, M. M. Not Only Why but Also How to Trust Science: Reshaping Science Education Based on Science Studies for a Better Post-pandemic World. **Science & Education**, v. 31, n. 5, p. 1363–1382, 1 out. 2022.

LIMA, N. W.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. DE H. Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 435–459, 9 ago. 2017.

LIU, X. et al. Alignment between the physics content standard and the standardized test: A comparison among the United States-New York State, Singapore, and China-Jiangsu. **Science Education**, v. 93, n. 5, p. 777–797, 2009.

LOPES, L. F. D. **Métodos quantitativos**. 1ª edição ed. Santa Maria - Brasil: Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

MACH, E. **The Science of Mechanics**. [s.l.] Read Books, 2008.

MAISON et al. LEARNING ENVIRONMENT, STUDENTS' BELIEFS, AND SELF-REGULATION IN LEARNING PHYSICS: STRUCTURAL EQUATION MODELING. **Journal of Baltic Science Education**, v. 18, n. 3, p. Continuous, 2019.

MANNILA, K.; KOPONEN, I.; NISKANEN, J. Building a picture of students' conceptions of wave- and particle-like properties of quantum entities. **European Journal of Physics**, v. 23, p. 45, 19 dez. 2001.

MÄNTYLÄ, T. Promoting Conceptual Development in Physics Teacher Education: Cognitive-Historical Reconstruction of Electromagnetic Induction Law. **Science & Education**, v. 22, n. 6, p. 1361–1387, 1 jun. 2013.

MARÍN, N.; BENARROCH, A.; NIAZ, M. Revisión de consensos sobre naturaleza de la ciencia. **Revista de Educación**, v. 361, p. 117–140, 2013.

MARSHMAN, E.; SINGH, C. Investigating and improving student understanding of quantum mechanics in the context of single photon interference. **Physical Review Physics Education Research**, v. 13, n. 1, p. 010117, 14 abr. 2017.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112–131, 2007.

MARTINS, A. F. P. Terraplanismo, Ludwik Fleck e o mito de Prometeu. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1193–1216, 16 dez. 2020.

MARTINS, R. A. Como distorcer a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica 1- Física clássica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 15, n. 3, p. 243–264, 1998.

MASON, A. J.; SINGH, C. Surveying college introductory physics students' attitudes and approaches to problem solving. **European Journal of Physics**, v. 37, n. 5, p. 055704, jul. 2016.

MATTHEWS, M. R. History, philosophy, and science teaching: The present rapprochement. **Science & Education**, v. 1, n. 1, p. 11–47, 1 mar. 1992a.

MATTHEWS, M. R. History, philosophy, and science teaching: The present rapprochement. **Science & Education**, v. 1, n. 1, p. 11–47, 1 mar. 1992b.

MCCLURE, M. B. et al. A pedagogical approach to science outreach. **PLOS Biology**, v. 18, n. 4, p. e3000650, 16 abr. 2020.

MCCOMAS, W. F. (ED.). **Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies**. Cham: Springer International Publishing, 2020.

MCINTYRE, L. **Post-Truth**. [s.l.] MIT Press, 2018.

MELO, É.; BÄCHTOLD, M. A Theater-Based Device for Training Teachers on the Nature of Science. **Science & Education**, v. 27, n. 9, p. 963–986, 1 dez. 2018.

MOURA, C. B. et al. Science education in a world in crisis: contributions from the South to a defense of a cultural–historical approach in science teaching. **Cultural Studies of Science Education**, v. 18, n. 3, p. 669–693, 1 set. 2023.

NARDI, R. MEMÓRIAS DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS NO BRASIL: A PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 63–101, 2005.

NISSEN, J. M.; HER MANY HORSES, I.; VAN DUSEN, B. Investigating society's educational debts due to racism and sexism in student attitudes about physics using quantitative critical race theory. **Physical Review Physics Education Research**, v. 17, n. 1, p. 010116, 9 mar. 2021.

ODDEN, T. O. B.; MARIN, A.; RUDOLPH, J. L. How has Science Education changed over the last 100 years? An analysis using natural language processing. **Science Education**, v. 105, n. 4, p. 653–680, 2021.

ODDEN, T. O. B.; RUSS, R. S. Defining sensemaking: Bringing clarity to a fragmented theoretical construct. **Science Education**, v. 103, n. 1, p. 187–205, 2019.

OH, H.-Y.; LEDERMAN, N. G. Using an explicit NOS flow map in instruction of nature of science based on the science of philosophy. **Journal of Turkish Science Education**, v. 15, p. 64–90, 1 set. 2018.

PALMER, D. Students' alternative conceptions and scientifically acceptable conceptions about gravity. **International Journal of Science Education - INT J SCI EDUC**, v. 23, p. 691–706, 1 jul. 2001.

PEREIRA, Alexsandro; CAVALCANTI, Cláudio José de Holanda; PESSOA JR., Osvaldo; OSTERMANN, Fernanda. **Uma abordagem conceitual e fenomenológica dos postulados da física quântica**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, [S. l.], v. 29, p. 831–863, 2012. DOI: 10.5007/2175-7941.2012v29nesp2p831. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29-nesp2p831>. Acesso em: 16 jan. 2025

PIGOZZO, D.; NASCIMENTO, M. M.; LIMA, N. W. Uma revisão de literatura da área de educação em ciências sobre o fenômeno cultural do misticismo quântico. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 63–85, 16 maio 2022.

PINTO, N. B. CONTRATO DIDÁTICO OU CONTRATO PEDAGÓGICO? **Revista Diálogo Educacional**, v. 4, n. 10, p. 93–106, 17 jul. 2003.

POLYDORO, S. A. J. et al. Promoção da autorregulação da aprendizagem na universidade: percepção do impacto de uma disciplina eletiva. **Revista de Educação PUC-Campinas**, v. 20, n. 3, p. 201, 16 dez. 2015.

POLYDORO, S. A. J. et al. Autorregulação da aprendizagem: adaptação e evidências de validade de instrumentos para universitários brasileiros. **Educação em Análise**, v. 4, n. 1, p. 21–42, 1 jul. 2019.

PONCZEK, R. L. A polêmica entre Leibniz e os cartesianos: MV ou MV<sup>2</sup>? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 17, n. 3, p. 336–347, 1 jan. 2000.

PRESCOD-WEINSTEIN, C. Making Black Women Scientists under White Empiricism: The Racialization of Epistemology in Physics. **Signs: Journal of Women in Culture and Society**, v. 45, n. 2, p. 421–447, jan. 2020.

REDISH, E. F.; SAUL, J. M.; STEINBERG, R. N. Student expectations in introductory physics. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 3, p. 212–224, 1 mar. 1998.

RIBEIRO JUNIOR, L. A.; CUNHA, M. F.; LARANJEIRAS, C. C. Simulação de experimentos históricos no ensino de física: uma abordagem computacional das dimensões histórica e empírica da ciência na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, p. 4602, 31 jan. 2013.

RICARDO, E.; SLONGO, I.; PIETROCOLA, M. A PERTURBAÇÃO DO CONTRATO DIDÁTICO E O GERENCIAMENTO DOS PARADOXOS. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 153–163, 2003.

ROBERTI, V. et al. Maxwell's color box: Retracing the path of color matching experiments. **American Journal of Physics**, v. 90, n. 10, p. 787–794, 1 out. 2022.

ROSA, C. T. W. DA; GHIGGI, C. M. RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM FÍSICA ENVOLVENDO ESTRATÉGIAS METACOGNITIVAS: ANÁLISE DE PROPOSTAS DIDÁTICAS. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 23, n. 3, p. 31–59, 22 dez. 2018.

ROSÁRIO, Pedro et al. **Processos de auto-regulação da aprendizagem em alunos com insucesso no 1.º ano de Universidade**. *Psicologia Escolar e Educacional*, [s. l.], v. 14, p. 349–358, 2010.

RUTT, A.; MUMBA, F. Developing Preservice Teachers' Understanding of and Pedagogical Content Knowledge for History of Science–Integrated Science Instruction. *Science & Education*, v. 28, n. 9, p. 1153–1179, 1 dez. 2019.

SAGAN, C. **Cosmos**. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

SANTOS, Crysman Dutra. **Do realismo teórico ao realismo de entidades: Karl Popper e Ian Hacking**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Filosofia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/45846>. Acesso em: 16 jan. 2025.

SANTOS, I. P. DOS; FILHO, J. D. V. C. C.; TEIXEIRA, R. R. P. Eratóstenes nos Dias de Hoje e a Crença na Terra Plana. *Abakós*, v. 9, n. 2, p. 95–112, 25 nov. 2021.

SCHIFFER, H.; GUERRA, A. Electricity and Vital Force: Discussing the Nature of Science Through a Historical Narrative. *Science & Education*, v. 24, n. 4, p. 409–434, 1 maio 2015.

SCHUBATZKY, T.; HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, C. Debunking Climate Myths Is Easy—Is It Really? An Explorative Case Study with Pre-Service Physics Teachers. *Education Sciences*, v. 12, n. 8, p. 566, ago. 2022.

SCHVARTZER, M.; ELAZAR, M.; KAPON, S. Guiding Physics Teachers by Following in Galileo's Footsteps. *Science & Education*, v. 30, n. 1, p. 165–179, 1 fev. 2021.

SEMENSATO, M. T. et al. Revisão sistemática de estudos sobre a autorregulação da aprendizagem da matemática no ensino superior. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, v. 37, p. 218–249, 5 maio 2023.

SEROGLOU, F.; KOUMARAS, P. The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review. Em: BEVILACQUA, F.; GIANNETTO, E.; MATTHEWS, M. R. (Eds.). **Science Education and Culture: The Contribution of History and Philosophy of Science**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001a. p. 327–346.

SEROGLOU, F.; KOUMARAS, P. The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review. Em: BEVILACQUA, F.; GIANNETTO, E.; MATTHEWS, M. R. (Eds.). **Science Education and Culture: The Contribution of History and Philosophy of Science**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001b. p. 327–346.

SILVA, H. C. DA. Grupo Fluxo: circulação e textualização do conhecimento científico. Em: **Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018. p. 147–168.

SINGH, C. Student understanding of quantum mechanics. **American Journal of Physics**, v. 69, n. 8, p. 885–895, 1 ago. 2001.

SINGH, C.; MARSHMAN, E. Review of student difficulties in upper-level quantum mechanics. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 11, n. 2, p. 020117, 23 set. 2015.

STEFANIDOU, C.; PSOMA, V.; SKORDOULIS, C. Ptolemy's experiments on refraction in science class. **Physics Education**, v. 55, n. 3, p. 035027, abr. 2020.

STEIN, H.; GALILI, I.; SCHUR, Y. Teaching a new conceptual framework of weight and gravitation in middle school. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 52, n. 9, p. 1234–1268, 2015.

STEWART, J. et al. Behavioral self-regulation in a physics class. **Physical Review Physics Education Research**, v. 12, n. 1, p. 010125, 1 abr. 2016.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, O. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. **Science & Education**, v. 21, n. 6, p. 771–796, 1 jun. 2012a.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, O. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. **Science & Education**, v. 21, n. 6, p. 771–796, 1 jun. 2012b.

VALLI, M. Análise de Cluster. **Augusto Guzzo Revista Acadêmica**, n. 4, p. 77–87, 2002.

VARNER, J. Scientific Outreach: Toward Effective Public Engagement with Biological Science. **BioScience**, v. 64, n. 4, p. 333–340, 1 abr. 2014.

VELENTZAS, A.; HALKIA, K. From Earth to Heaven: Using 'Newton's Cannon' Thought Experiment for Teaching Satellite Physics. **Science & Education**, v. 22, n. 10, p. 2621–2640, 1 out. 2013.

VIGOSTKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. 1. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VOLFSON, A.; ESHACH, H.; BEN-ABU, Y. History of Science Based Dialogues on Sound Waves: From Sound Atoms to Phonons. **Physical Review Physics Education Research**, v. 18, n. 1, 2022.

WELCH, W. W. Review of the research and evaluation program of harvard project physics. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 10, n. 4, p. 365–378, 1973.

WILLIAMS, M. The Missing Curriculum in Physics Problem-Solving Education. **Science & Education**, v. 27, n. 3, p. 299–319, 1 maio 2018.

WINRICH, C.; GARIK, P. Integrating History of Science in In-service Physics Teacher Education: Impact on Teachers' Practice. **Science & Education**, v. 30, n. 5, p. 1099–1130, 1 out. 2021.

YACOUBIAN, H. A.; HANSSON, L. (EDS.). **Nature of Science for Social Justice**. Cham: Springer International Publishing, 2020.

ZEIDLER, D. L. et al. Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. **Science Education**, v. 89, n. 3, p. 357–377, 2005.

ZIMMERMAN, B. A Social Cognitive View of Self-Regulated Academic Learning. **Journal of Educational Psychology**, v. 81, p. 329–339, 1 set. 1989.

## APÊNDICE A – SÍNTESE DOS ARTIGOS REVISADOS NO ESTUDO 2

Autor(es)/ano	Título do artigo	Objetivo (dimensão)	Tema	MP	CE	Teoria de Ensino	ME	FH	Conclusões
Kolokouri & Plakitsi (2012)	Color Visions from the Past in Science Teaching Within a Cultural Historical Activity Theory (CHAT) Context	E/F C EM	Ótica; NDC;	QL	EB	Cultural Historical Activity Theory (CHAT).	Aulas expositivas; Atividades com recursos audiovisuais; Atividades em grupo; Debates na turma;	--	Aumento de habilidades docentes; Aumento de autoeficácia; Aumento de conhecimento conceitual;
Dibattista & Morgese (2012)	Introducing History (and Philosophy) of Science in the Classroom: A Field Research Experience in Italy	EM	Mecânica; Eletromag.; Física Moderna (modelos atômicos).	QL	EB	--	--	--	Aumento de conhecimento sobre NDC; Aumento de participação ativa dos alunos; Aumento de conhecimento conceitual
Mäntylä, T. (2012)	Promoting Conceptual Development in Physics Teacher Education: Cognitive-Historical Reconstruction of Electromagnetic Induction Law	C	Eletromag.; NDC;	QL	ES	Abordagem C-Histórica de Neressian	Atividades de produção textual; Atividades em grupo;	--	Aumento de conhecimento conceitual Aumento de habilidades docentes
Lewthwaite et al. (2012)	Revising teacher candidates' views of science and self: Can accounts from the history of science help?	E/F EM AMD	Mecânica	QL	ES	Modelo de Mezirow da Aprendizagem Transformacional.	Aulas expositivas;	--	Aumento de habilidades docentes
Velentzas & Halkia (2013)	From Earth to Heaven: Using 'Newton's Cannon' Thought Experiment for Teaching Satellite Physics	C	Mecânica	QL	EB	--	Aulas expositivas; Resolução de problemas;	--	Aumento de conhecimento conceitual; Identificação de concepções alternativas.
Eshach et al. (2013)	Introducing Taiwanese undergraduate students to the nature of science through Nobel Prize stories	E/F	Física Moderna (efeito fótoelétrico); NDC;	QL	ES	--	Aulas expositivas; Debates na turma; Atividades em grupo;	FP e FS	Aumento de conhecimento sobre NDC; Geração/reforço de concepções alternativas Aumento de conhecimento conceitual.
De Hosson & Décamp (2013)	Using Ancient Chinese and Greek Astronomical Data: A Training Sequence in Elementary Astronomy for Pre-Service Primary School Teachers	C	Mecânica; Ótica; NDC;	QL	ES	Engenharia didática de Méheut e Psillos (2004).	Aulas expositivas; Atividades de leitura/escrita; Atividades experimentais	FS	Aumento de conhecimento conceitual;
Schiffer & Guerra (2014)	Electricity and Vital Force: Discussing the Nature of Science Through a Historical Narrative	E/F	Eletromag.; NDC;	QL	EB	--	Aulas expositivas; Atividades de leitura/escrita; Respostas à questionários; Atividades experimentais;	FS	Aumento de conhecimento conceitual; Aumento de conhecimento sobre NDC; Aumento de interesse dos alunos; Aumento de habilidades docentes.
Leone, M. (2014)	History of Physics as a Tool to Detect the Conceptual Difficulties Experienced by Students: The Case of Simple Electric Circuits in Primary Education	C	Eletromag.; NDC;	QL	EB	--	Respostas à questionários;	--	Identificação de concepções alternativas; Aumento de habilidades docentes.
Levrini et al. (2014)	Meeting the Discipline-Culture Framework of Physics Knowledge: A Teaching Experience in Italian	EM	Ótica	QL e QT	EB	Perspectiva disciplinar-cultural (DC) Tseitlin and	Aulas expositivas; Atividades em grupo;	--	Aumento de interesse dos alunos; Aumento de conhecimento conceitual; Aumento de habilidades docentes.

	Secondary School					Galili 2005			
Henke & Höttecke (2014)	Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching	EM	Mecânica Eletromag. Termodinâmica	QL	EB	--	--	--	Baixo nível de confiança e capacidade em usar a HDC no ensino de Física.
Garik et al. (2014)	Teaching the Conceptual History of Physics to Physics Teachers	EM	Mecânica; Eletromag.; Termodinâmica; Física Moderna (teoria atômica); NDC;	QL	EB	--	Aulas expositivas; Debates na turma; Atividades em grupo;	FP e FS	Aumento de conhecimento conceitual; Aumento de habilidades docentes.
Bagdonas & Silva (2015)	Enhancing Teachers' Awareness About Relations Between Science and Religion: The Debate Between Steady State and Big Bang Theories	E/F	Física Moderna (Teorias do Big Bang e do Universo Estacionário); NDC;	QL	ES	--	Aulas expositivas; Atividades em grupo; Atividades de leitura/escrita; Atividades com recursos audiovisuais;	FP e FS	Não houve aprendizagem de aspectos emocionais; Participantes não esperam que alunos acreditem na ciência, mas que apenas a entendam; os professores não devem evitar nem enfatizar conflitos entre religião e ciência.
Karam & Krey (2015)	Quod erat demonstrandum: Understanding and Explaining Equations in Physics Teacher Education	C	Mecânica; Ótica; NDC;	QL	ES	--	Atividades de leitura/escrita; Atividades em grupo; Debates na turma;	FP e FS	Aumento de habilidades docentes; Aumento de conhecimento conceitual.
Stein et al. (2015)	Teaching a New Conceptual Framework of Weight and Gravitation In Middle School	C	Mecânica	QL	EB	Aprendizagem Significativa de Ausubel; Pedagogia Thinking Journey.	Aulas expositivas;	--	Aumento de conhecimento conceitual.
Fouad et al. (2015)	Using History of Science to Teach Nature of Science to Elementary Students	E/F	Mecânica; NDC;	QL	EB	--	Atividades experimentais; Resolução de problemas; Aulas expositivas;	--	Aumento de interesse dos alunos; Aumento de conhecimento sobre NDC.
Melo & Bächtold (2018)	A Theater-Based Device for Training Teachers on the Nature of Science	E/F	Física Moderna (Princípios da incerteza e da complementariedade); NDC;	QL	ES	Aprendizagem cíclica de Kelly	Aulas expositivas; Atividades de leitura/escrita; Implementação de peça teatral;	FS	Aumento de participação ativa dos alunos; Aumento de conhecimento sobre NDC.
Bøe et al. (2018)	Actual versus implied physics students: How students from traditional physics classrooms related to an innovative approach to quantum physics	EM	Física Moderna (Mecânica Quântica); NDC;	QL	EB	Vygotsky (1978); Mortimer & Scott (2003).	Atividades com recursos audiovisuais; Atividades em grupo;	--	Baixo nível de autoeficácia
Bächtold & Munier (2018)	Teaching energy in high school by making use of history and philosophy of science	C	Energia; Experimento de Joule; William Rankine;	QL	EB	Programa de reconstrução didática histórica (HOSSON, 2011).	Aulas expositivas; Atividades de leitura/escrita; Resolução de problemas;	FP e FS	Aumento de conhecimento conceitual; Não houve aprendizagem sobre NDC; Geração/reforço de concepções alternativas (NDC).
Oh & Lederman (2018)	Using an Explicit NOS Flow Map in Instruction of Nature of Science Based on the Science of Philosophy	E/F	Manchas solares de Galileo; NDC;	QT	ES	Conflito cognitive de Piaget	Aulas expositivas;	FP	Aumento de conhecimento sobre NDC.
Rutt & Mumba (2019)	Developing Preservice Teachers' Understanding of and Pedagogical Content Knowledge for History of Science–Integrated Science Instruction	C EM	Mecânica; Eletromag; Física Moderna (Relatividade; Mecânica Quântica);	QL e QT	ES	PCK de Shulman (1986).	Atividades de leitura/escrita; Atividades em grupo; Elaboração de planos de aula;	--	Aumento de conhecimento conceitual; Aumento de conhecimento sobre NDC; Aumento de habilidades docentes.

			Termodinâmica; Galileo Galilei;						
Hansson et al. (2019)	Rutherford visits middle school: a case study on how teachers direct attention to the nature of science through a storytelling approach	E/F	Física Moderna (modelos atômicos)	QL	EB	--	Debates na turma; Atividades em grupo;	FS	Aumento de conhecimento sobre NDC; Geração/reforço de concepções alternativas (NDC).
Batista & Silva (2019)	When Things Go Wrong: Implementing Historical-Investigative Activities in the Classroom	EM	Termodinâmica (calor latente e calor específico de Joseph Black)	QL	EB	--	Atividades experimentais; Aulas expositivas;	FP e FS	Ceticismo quanto ao uso da HDC em curto prazo; Aumento de interesse dos alunos.
Schvartzer et al. (2020)	Guiding Physics Teachers by Following in Galileo's Footsteps	E/F AMD	Mecânica; Galileu Galilei; NDC;	QL	ES	--	Atividades em grupo; Atividades de modelagem;	FP	Aumento de conhecimento sobre NDC;
Stefanidou et al. (2020)	Ptolemy's experiments on refraction in science class	E/F	Ótica; Experimento de refração de Ptolomeu; NDC;	QL	ES	Esquema de Niaz para abordagem integrada da NDC.	Atividades experimentais; Atividades investigativas; Atividades em grupo;	FS	Aumento de conhecimento sobre NDC; Aumento de conhecimento conceitual
Bevz & Dmytriienko (2020)	STUDENTS' PERCEPTIONS OF THE HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY COURSE AT TEACHER TRAINING UNIVERSITY	EM	Arquimedes; Leonardo da Vinci; Huygens; NDC;	QL	ES	--	Atividades de leitura/escrita; Apresentação de seminários;	--	Não houve aprendizagem de aspectos emocionais.
Alisir & Irez (2020)	The Effect of Replicating Historical Scientific Apparatus on High School Students' Attitudes Towards Science and Their Understanding of Nature of Science	E/F EM	Eletromag. (pilha voltaica de Volta);	QL	EB	--	Atividades investigativas; Atividades experimentais;	FS	Mudança positiva nas atitudes em relação a ciência; Não houve aprendizado sobre NDC; Aumento de interesse dos alunos; Aumento de habilidades científicas; Aumento de conhecimento conceitual.
Gandolfi, H. E. (2021)	"It's a lot of people in different places working on many ideas": Possibilities from global history of science to Learning about nature of science	E/F	Eletromag.	QL	EB	--	Aulas expositivas; Atividades experimentais; Debates na turma; Atividades em grupo;	--	Aumento de conhecimento sobre NDC; Aumento de conhecimento conceitual.
Jardim et al. (2021)	History of Science in Physics Teaching: Possibilities for Contextualized Teaching?	AMD EM E/F	Eletromag.; NDC;	QL	EB	Cultural History of Science (CHS).	Aulas expositivas; Atividades de leitura/escrita; Atividades em grupo; Debates na turma;	FP e FS	Mudança positiva de atitudes em relação a ciência; Aumento de conhecimento sobre NDC; Aumento de habilidades docentes; Aumento de conhecimento conceitual.
Koumara, A. (2022)	History of Pressure Implemented in a Nature of Science Professional Development Program for Science Teachers	E/F	Termodinâmica; NDC;	QL	EB	--	Aulas expositivas;	FS	Aumento de interesse dos alunos; Aumento de conhecimento sobre NDC; Aumento de conhecimento conceitual; Aumento de habilidades docentes;
Volfson et al. (2022)	History of science based dialogues on sound waves: From sound atoms to phonons	C	Ondulatória (acústica);	QL	ES	'Knowledge-in-pieces' de DiSessa	Aulas expositivas; Atividades experimentais;	--	Aumento de habilidades docentes; Aumento de conhecimento sobre NDC; Identificação de concepções alternativas.
Chen et al. (2022)	History of Science Reading Materials as Everyday Homework to Improve Middle School Students' Epistemological Beliefs about Science	E/F	Galileu Galilei; Robert Hooke; Isaac Newton; Albert Einstein;	QL e QT	EB	--	Atividades de leitura/escrita; Resolução de problemas;	FS	Aumento de conhecimento sobre NDC.

			Faraday; NDC;						
Legenda:									
AMD: Avaliação de material didático	C: Conceitual	CE: Contexto de ensino	EM: Emocional	E/F: Epistêmica/filosófica	ES: Superior	EB: Básico			
FH: Fonte histórica	FP: Fonte primária	FS: Fonte secundária	ME: Metodologia de ensino	MP: Metodologia de pesquisa	QL: Qualitativa	QT: Quantitativa			

**APÊNDICE B – INSTRUMENTO COMPLETO DO TESTE PADRONIZADO  
UTILIZADO NO ESTUDO 2.**

**QUESTIONÁRIO SOBRE EXPERIMENTOS COM ELÉTRONS: DUALIDADE  
ONDA-PARTÍCULA**

Você está sendo convidado(a) para participar de uma pesquisa relacionada a um minicurso de Física online sobre a Dualidade Onda-Partícula, com certificado de 4 horas. Para obter o link de participação do minicurso, é necessário que você responda a este questionário conceitual. Um outro questionário precisará ser respondido ao final do curso, cujo link será disponibilizado posteriormente.

A pesquisa vai ser desenvolvida com base no seguinte Termo de Consentimento. Portanto, se você responder a esse questionário, estará consentindo com esse termo, ou seja, estará participando da pesquisa com base nesse termo.

Este questionário inicial é composto por: i) oito questões iniciais sobre dados pessoais; ii) uma pergunta sobre seu conhecimento prévio sobre o conceito de Dualidade Onda-Partícula e iii) dez questões objetivas e uma questão aberta sobre experimentos com elétrons. O tempo previsto para responder o questionário é 15 minutos.

Você não será remunerado, visto que sua participação nesta pesquisa é de caráter voluntária. Caso decida desistir da pesquisa você poderá interromper o questionário e sair do estudo a qualquer momento, sem nenhuma restrição.

Nome:

E-mail:

Qual é a sua formação?

- ( ) Ensino Médio Incompleto
- ( ) Ensino Médio Completo
- ( ) Ensino Superior Incompleto
- ( ) Ensino Superior Completo
- ( ) Mestrado
- ( ) Doutorado

Por favor, especifique sua formação caso tenha cursado (ou esteja cursando) graduação, mestrado, doutorado.

Você é professor(a) da Educação Básica?

( ) Sim

( ) Não

Caso seja professor(a) da Educação Básica, é professor(a) da disciplina de Física?

( ) Sim

( ) Não

O que você sabe sobre o elétron e sua natureza?

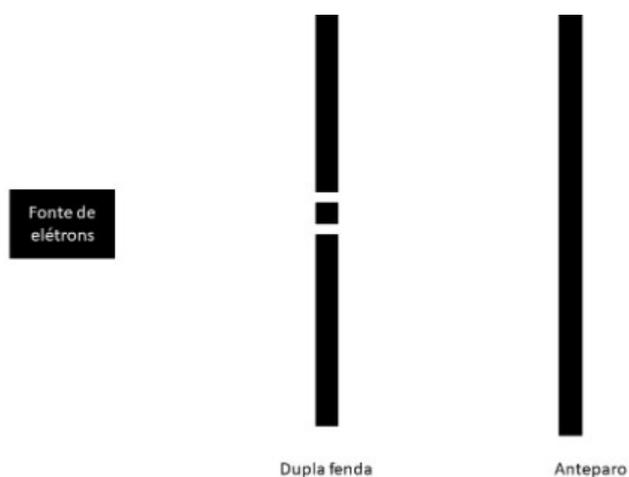
O que você sabe sobre o conceito de dualidade onda-partícula?

Caso já tenha estudado o conceito de dualidade onda-partícula anteriormente, indique em que contextos realizou seus estudos.

O que você sabe sobre o experimento da fenda dupla com elétrons?

O que você sabe sobre Mecânica Quântica em geral?

As questões abaixo se referem ao aparato experimental ilustrado abaixo, em que uma fonte lança elétrons em uma fenda dupla.



1. A fonte lançou apenas um único elétron. Qual é o padrão formado?

- Um padrão de interferência, semelhante ao que seria formado ao jogar um feixe de luz clássico
- Um único ponto isolado no anteparo.
- Dois pontos, referentes a cada metade do elétron que passou em cada fenda.
- Impossível dizer até que de fato o elétron passe pela dupla fenda.

2. Com relação ao elétron:

- Ele é indivisível, sendo sempre detectado em um único ponto.
- Por ter natureza dual, pode se dividir, sendo detectado em dois pontos em um experimento.
- Por ser dual, pode ser detectado distribuindo ao longo do espaço como uma onda.
- Não podemos falar nada sobre o elétron independentemente de uma medida concreta.

3. Se fizéssemos um experimento com um elétron e três fendas.

- Detectaríamos o elétron em três lugares distintos.
- Detectaríamos o elétron em um único ponto.
- Pode ser detectado distribuindo ao longo do espaço em uma onda.
- Não podemos falar nada sobre o elétron independentemente de uma medida concreta.

4. Voltando ao experimento de dupla fenda. A fonte passa a lançar um elétron por vez. Somente depois de um elétron chegar no anteparo, outro elétron é lançado. Depois de muito tempo, qual é o padrão formado?

- Um padrão de interferência, semelhante ao que seria formado ao jogar um feixe de luz clássico.
- Um borrão compatível com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao número de elétrons jogados.
- Um borrão compatível com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao dobro do número de elétrons jogados.
- Impossível dizer até que de fato o elétron passe pela dupla fenda.

5. No caso anterior, em que lançamos um elétron por vez:

( ) Conseguimos dizer em qual fenda cada elétron passou a partir do ponto em que ele incide no anteparo.

( ) Não conseguimos afirmar nada sobre qual fenda o elétron passou.

( ) Existe uma fenda para a qual há maior probabilidade de ele ter passado.

6. Queremos, agora, saber por qual fenda o elétron passou no experimento de fenda dupla. Por isso, precisamos medir por qual fenda o elétron passou. Sobre esse processo, na Mecânica Quântica:

( ) Medição é o processo de uma mente que fica consciente de uma dada informação.

( ) Medida é um processo concreto, usando um aparato experimental.

( ) Ainda que se use um aparato experimental para saber por qual fenda o elétron passou, a medida só termina quando um observador consciente participa do processo.

( ) Não é possível medir por qual fenda o elétron passou.

7. Para sabermos a fenda pela qual o elétron passou

( ) É preciso interagir com o elétron, ou seja, o elétron não está mais isolado.

( ) Não é necessário interagir com o elétron, podendo observar sua posição sem nenhum tipo de alteração em seu estado.

( ) Podemos fazer a interação ser tão insignificante quanto queiramos de forma que podemos sim ter medida de posição precisa sem alterar o estado do elétron.

( ) Não é possível saber por qual fenda o elétron passou.

8. Colocamos, agora, um dispositivo, perto das fendas, que emite radiação eletromagnética, e um detector de radiação. Quando o elétron passar pelas fendas, ele interage com a radiação, emitindo um sinal que pode ser detectado e indicar por qual fenda ele passou. Para isso, precisamos usar uma radiação de pequeno comprimento de onda (garantindo a precisão da posição). Novamente, lançamos um elétron por vez, por um tempo muito grande. Nesse caso, o padrão formado no anteparo será

( ) Um padrão de interferência, semelhante ao que seria formado ao jogar um feixe de luz clássico.

( ) Um borrão compatível com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao número de elétrons jogados.

( ) Um borrão compatível com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao dobro do número de elétrons jogados.

( ) Impossível dizer até que de fato o elétron passe pela dupla fenda.

( ) Não é possível saber por qual fenda o elétron passou.

9. Aumentamos o comprimento de onda da radiação do dispositivo mencionado no item anterior, até que a interação dessa radiação com o elétron seja insignificante, ou seja, na prática é como se ele não estivesse interagindo com nenhuma radiação (pois com grande comprimento de onda, a radiação momento linear desprezível):

( ) Conseguimos dizer por qual fenda cada elétron passou a partir do ponto em que ele incide no anteparo.

( ) Não conseguimos afirmar nada sobre qual fenda o elétron passou.

( ) Existe uma fenda para a qual há maior probabilidade de ele ter passado.

10. No caso descrito na questão anterior, o padrão formado no anteparo é

( ) Um padrão de interferência, semelhante ao que seria formado ao jogar um feixe de luz clássico.

( ) Um borrão compatível com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao número de elétrons jogados.

( ) Um borrão compatível com o comportamento de partículas, e o número de pontos corresponde ao dobro do número de elétrons jogados.

( ) Impossível dizer até que de fato o elétron passe pela dupla fenda.

## APÊNDICE C – TEXTO COM ABORDAGEM HISTÓRICA UTILIZADA NO TÓPICO DE MRUV DO ESTUDO 3

### Galileu Galilei e a “queda dos graves” (queda livre): duas histórias

#### Galileu e o experimento da Torre de Pisa

Galileu Galilei foi um dos precursores da ‘metodologia científica’, fundamentada tanto na razão quanto na empiria. Foi o primeiro a propor que o movimento de queda de um corpo partindo do repouso não dependia de seu peso, e que as distâncias percorridas por ele seriam proporcionais a razão dupla dos intervalos de tempo, ou seja,  $d \propto t^2$ . De acordo com um biógrafo do cientista, Galileu atingiu estes resultados realizando experimentos no alto da Torre de Pisa, onde abandonava objetos de diferentes pesos e observava seus movimentos, demonstrando suas afirmações diante de diversos cientistas e filósofos (VIVIANE, apud KOYRE, 1988). Assim, os experimentos da Torre de Pisa teriam sido definitivos para derrubar a física aristotélica e iniciar uma nova teoria dinâmica. Teria continuado seus experimentos com planos inclinados para aprimorar seus conhecimentos sobre o movimento acelerado.

#### Galileu e o experimento da Torre de Pisa?

A história pode ter sido um pouco diferente. Galileu era influenciado por motivações metafísicas, assim como (praticamente) todos seus contemporâneos. Estava inclinado a defender um modelo heliocêntrico do sistema solar, o que implica na existência de um movimento da Terra. Este movimento era motivo de críticas por defensores do geocentrismo, uma vez que supostamente implicava em problemas como, por exemplo, i) na queda livre um corpo não pode cair verticalmente, já que a Terra giraria enquanto o corpo cai e ii) no lançamento de um projétil, o alcance se o lançamento foi para leste teria que ser diferente do que se foi lançado para oeste, já que a Terra giraria num sentido fixo. Com isso, Galileu propõe que apenas uma nova física - uma que sustentaria o modelo heliocêntrico - resolveria estas questões. Foi neste contexto que estudou o movimento de queda livre, partindo da suposição mais simples possível: um corpo abandonado adquire quantidades iguais de velocidade em intervalos de tempos iguais ( $\Delta v \propto \Delta t$ ). Entretanto, nunca foi comprovado que Galileu tenha realizado seus experimentos na Torre de Pisa (KOYRE, 1988); ele o fez essencialmente com planos inclinados, até porque estava ciente de efeitos de arrasto do ar que fariam com que objetos de pesos diferentes não chegassem ao solo ao mesmo tempo, o que complicaria sua argumentação.

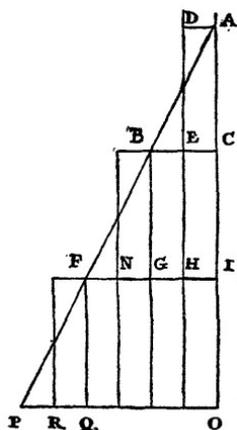


Fig. 49

### Como Galileu Galilei chegou na ‘equação’ do MRUV?

Galileu desenvolveu *argumentos geométricos*; imaginou um triângulo dividido em segmentos iguais, tanto na vertical como na horizontal, apesar de diferentes tamanhos (Figura 49).

O segmento vertical  $\overline{AO}$  representa um “eixo do tempo”, ou seja,  $\overline{AC}$ ,  $\overline{CI}$  e  $\overline{IO}$  representam intervalos de tempos iguais (por exemplo, um segundo).

O segmento horizontal  $\overline{PO}$  representa um “eixo de velocidade”, ou seja,  $\overline{PR}$  e  $\overline{RQ}$  representam acréscimos iguais de velocidade (por exemplo, de Q à R o corpo ganhou 1 m/s de velocidade).

O objeto parte do repouso no ponto A. Assume-se, por simplicidade, que ele ganhará quantidades iguais de velocidade em intervalos de tempos iguais ( $\frac{\Delta v \propto \Delta t}$ ), por exemplo, ao passar um segundo (segmento  $\overline{AC}$ ) o corpo adquiriu duas unidades de velocidade (segmento  $\overline{CB}$ ).

Galileu tinha a noção de que cada quadrado na figura representava a distância percorrida num intervalo de tempo! Se um quadrado estava associado a um segundo, quatro quadrados associados à passagem de dois segundos, nove quadrados associados a três segundos, e assim por diante, concluiu que a distância percorrida dependia do quadrado dos tempos ( $d \propto \Delta t^2$ )!

Referências:

KOYRÉ, A. Estudios de historia del pensamiento científico. México: Siglo Veintiuno, 1988.

Silveira, Fernando. (2006). TRÊS EPISÓDIOS DE DESCOBERTA CIENTÍFICA: DA CARICATURA EMPIRISTA A UMA OUTRA HISTÓRIA. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. 23. 26.





## APÊNDICE F – TERMO DE CONSENTIMENTO DO ESTUDO 3

### Termo de Consentimento Informado e Esclarecido

Declaro, por meio deste termo, estar ciente dos objetivos e das condições pertinentes à minha participação na coleta de dados de uma pesquisa sobre atribuição de sentido a conceitos/modelos/experiências do campo da Física. A pesquisa será realizada por Matheus Henrique Thomas Becker (matheusthomasbecker@gmail.com), no âmbito do seu curso de Mestrado Acadêmico no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e pelos professores Dr. Leonardo Albuquerque Heidemann e Dr. Nathan Willig Lima. Respondendo aos questionários, manifesto meu consentimento em participar das pesquisas conduzidas pelos referidos pesquisadores, cujo principal interesse é investigar a atribuição de sentido dos participantes a diversos conceitos, modelos ou experiências envolvidas nas atividades da disciplina de Introdução à Física. Esses sentidos serão inferidos a partir da análise dos mecanismos autorregulatórios dos estudantes. Declaro que fui informado de que as informações coletadas a partir dessas pesquisas serão utilizadas estritamente para fins acadêmicos, de divulgação científica, bem como para delineamento de ações na instituição, mantendo minha identificação em sigilo. Estou ciente de que posso cancelar a minha participação na pesquisa a qualquer momento, bastando apenas informar minha vontade ao pesquisador. Entendo que minha colaboração terá início quando eu iniciar minha participação no presente questionário, declarando estar de acordo com as condições da minha participação, sem quaisquer ônus financeiros a nenhuma das partes.

Assinatura do(a) participante: \_\_\_\_\_

Porto Alegre, 23 de novembro de 2023.