

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos
Programa de Pós-Graduação em Química



Dissertação

**De Interações Intermoleculares e Perfis Epistemológicos: Por Que o Ensino de
Química Ainda Pensa Clássico em Seus Materiais?**

Fernanda Karolaine Dutra da Silva

Pelotas, fevereiro 2025

Fernanda Karolaine Dutra da Silva

De Interações Intermoleculares e Perfis Epistemológicos: Por Que o Ensino de Química Ainda Pensa Clássico em Seus Materiais?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Química.

Orientador: Bruno dos Santos Pastoriza

Coorientador: Alessandro Cury Soares

Pelotas, 2025

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

S586d Silva, Fernanda Karolaine Dutra da

De interações intermoleculares e perfis epistemológicos [recurso eletrônico] : por que o ensino de Química ainda pensa clássico em seus materiais? / Fernanda Karolaine Dutra da Silva ; Bruno dos Santos Pastoriza, orientador ; Alessandro Cury Soares, coorientador. — Pelotas, 2025.

184 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, 2025.

1. Perfil epistemológico. 2. Ensino de Química. 3. Interações intermoleculares. 4. Livros didáticos. 5. Ensino clássico. I. Pastoriza, Bruno dos Santos, orient. II. Soares, Alessandro Cury, coorient. III. Título.

CDD 540.7

Fernanda Karolaine Dutra da Silva

De Interações Intermoleculares e Perfis Epistemológicos: Por Que o Ensino de Química Ainda Pensa Clássico em Seus Materiais?

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 05/02/2025

Banca examinadora:

Prof. Dr. (Orientador)
Doutor em Educação em Ciências pela Universidade Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Documento assinado digitalmente
gov.br BRUNO DOS SANTOS PASTORIZA
Data: 14/02/2025 21:11:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr.
Doutor em Educação em Ciências pela Universidade Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Documento assinado digitalmente
gov.br ALESSANDRO CURY SOARES
Data: 17/02/2025 12:11:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr.
Doutor em Educação em Ciências pela Universidade Universidade Federal de Santa Maria

Documento assinado digitalmente
gov.br MAURICIUS SELVERO PAZINATO
Data: 14/02/2025 10:29:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr.
Doutor em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Universidade Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
gov.br FABIO ANDRE SANGIOGO
Data: 17/02/2025 09:41:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha mãe, Eleni, cuja força e amor incondicionais sempre foram o meu maior alicerce. Tudo sempre foi e será por ti.

Agradecimentos

Gostaria de iniciar agradecendo a toda a espiritualidade.

À minha mãe, por ter me apoiado e sempre me incentivado a continuar, e principalmente acreditando em mim nos momentos em que nem eu mesma acreditava. Sei que, de onde está, segue vibrando pelas minhas conquistas, que, na verdade, são nossas.

Gostaria de agradecer ao meu pai pelo encorajamento sempre que necessário. À minha irmã Marina, que também é professora e foi minha primeira fonte de inspiração na docência. Às minhas madrinhas Tereza e Vânia, a minha tia Gorete e à minha avó Evani pelo apoio e incentivo. Também gostaria de agradecer a torcida e incentivo do meu sogro Roger e da minha sogra Silvia. Ainda, gostaria de agradecer à minha sogra por todos os papos sobre educação; certamente, é uma das professoras em quem me inspiro quando reflito sobre o meu ato de ensinar.

Ainda, gostaria de agradecer ao meu amor, Renan. Não encontro palavras para expressar minha gratidão pelo apoio, carinho e cuidado que tens comigo. Nesse percurso, nos momentos que mais precisei tu estiveste incansavelmente ao meu lado. Obrigada por tudo o que fizeste e, principalmente, por tudo o que és para mim.

Gostaria de agradecer imensamente aos meus colegas de trabalho Michael e Natália, aos meus amigos Diego, Eduarda, Leonardo, Matheus, Muriel, Roger, Vitória e aos demais integrantes do LABEQ. E, em especial, a Alice e Guilherme, serei eternamente grata pelo cuidado e carinho que tiveram comigo quando mais precisei.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os professores que colaboraram com meu processo de formação, especialmente ao professor Alessandro, que é meu coorientador e um grande amigo, alguém que torna os momentos no laboratório mais divertidos e que sempre está contribuindo com seus questionamentos. E ao professor Bruno, com quem tenho a sorte de trabalhar desde o primeiro momento em que ingressei na universidade. Professor, tu és uma grande inspiração como professor e pesquisador, mas, além disso, como ser humano. Obrigada por tudo.

Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ), à Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e aos órgãos de fomento (CAPES e CNPq). Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Epígrafe
“Para um espírito científico, todo conhecimento é uma resposta a uma pergunta. Se não houve pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é dado. Tudo é construído.”

Resumo

SILVA, Fernanda Karolaine Dutra da. **De Interações Intermoleculares e Perfis Epistemológicos: Por Que o Ensino de Química Ainda Pensa Clássico em Seus Materiais?** 2025. 184f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025.

Esta dissertação investiga o Perfil Epistemológico presente em diferentes materiais didáticos utilizados no Ensino de Química, com foco específico nas Interações Intermoleculares. A pesquisa se debruça sobre livros do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), livros destinados ao Ensino Superior e Obras Históricas, analisando como esses materiais exploram o conceito de Interações intermoleculares. O objetivo geral é identificar e compreender as zonas filosóficas que emergem desses recursos, explorando tanto a formação dos conceitos quanto possíveis implicações pedagógicas para o Ensino de Química. A dissertação é organizada em seis artigos que abordam diferentes dimensões do problema de pesquisa. O primeiro artigo discute a definição e a distinção entre os conceitos de Perfil Epistemológico e Perfil Conceitual, estabelecendo uma base teórica para a investigação. O segundo artigo explora a construção epistemológica do conceito de Interações Intermoleculares. O terceiro e quarto artigos analisam como esses conceitos são tratados nos livros didáticos do PNLD e no Ensino Superior, respectivamente, utilizando análise de conteúdo com base em Bardin (1977) para identificar as abordagens predominantes. O quinto artigo investiga a evolução histórica do conceito de Interações Intermoleculares nas obras científicas antigas, enquanto o sexto artigo apresenta uma análise empírica do Perfil Epistemológico presente nos três tipos de materiais didáticos analisados, revelando uma predominância do Racionalismo Clássico, refletindo uma abordagem tradicional da Química acerca das Interações Intermoleculares. A análise crítica dos livros e sua limitação em promover uma visão mais contextualizada da Ciência indicam a necessidade de uma revisão mais profunda nos currículos e materiais didáticos, visando um ensino mais crítico e alinhado às demandas contemporâneas.

Palavras-chave: Perfil Epistemológico; Ensino de Química; Interações Intermoleculares; Livros Didáticos; Ensino Clássico.

Abstract

SILVA, Fernanda Karolaine Dutra da. **De Interações Intermoleculares e Perfis Epistemológicos: Por Que o Ensino de Química Ainda Pensa Clássico em Seus Materiais?** 2025. 184f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025.

This dissertation investigates the Epistemological Profile present in different educational materials used in Chemistry Education, with a specific focus on Intermolecular Interactions. The research examines textbooks from the National Textbook Program (PNLD), books intended for Higher Education, and historical works, analyzing how these materials explore the concept of Intermolecular Interactions. The general objective is to identify and understand the philosophical zones that emerge from these resources, exploring both the formation of concepts and possible pedagogical implications for Chemistry Education.

The dissertation is structured into six articles, each addressing different dimensions of the research problem. The first article discusses the definition and distinction between the concepts of Epistemological Profile and Conceptual Profile, establishing a theoretical foundation for the investigation. The second article explores the epistemological construction of the concept of Intermolecular Interactions. The third and fourth articles analyze how these concepts are addressed in PNLD textbooks and Higher Education materials, respectively, employing content analysis based on Bardin (1977) to identify predominant approaches. The fifth article investigates the historical evolution of the concept of Intermolecular Interactions in early scientific works, while the sixth article presents an empirical analysis of the Epistemological Profile found in the three types of educational materials examined, revealing a predominance of Classical Rationalism, which reflects a traditional approach to Chemistry regarding Intermolecular Interactions.

The critical analysis of textbooks and their limitations in promoting a more contextualized view of Science highlight the need for a deeper revision of curricula and educational materials, aiming for a more critical and contemporary approach to Chemistry Education.

Keywords: *Epistemological Profile; Chemistry Education; Intermolecular Interactions; Textbooks; Classical Teaching.*

Sumário

1 Introdução: ponto de partida da investigação	13
2 Gaston Bachelard e as Zonas Filosóficas: Contribuições para o Ensino de Química	18
2.1 História, Filosofia e Epistemologia no Ensino de Química	18
2.2 A epistemologia de Gaston Bachelard, e suas contribuições para o Ensino de Química	19
2.3 Explorando as Zonas Filosóficas das Interações Intermoleculares	23
2.4 O Perfil Epistemológico	31
3 Artigos	34
3.1 Artigo 1: Perfil Epistemológico e Perfil Conceitual: usos, abusos e confusões?	34
Introdução	37
Explorando e Diferenciando os Fundamentos Teóricos do Perfil Epistemológico e do Perfil Conceitual	37
Percurso Metodológico	42
Qualificando a pesquisa: usos dos estudos com o Perfil Conceitual e o Perfil Epistemológico	47
Considerações finais	55
3.2 Artigo 2: Uma análise dos conceitos de Interações Intermoleculares discutidos nos livros de ciências da natureza e suas tecnologias do PNLD 2021	99
Introdução	101
Metodologia	103
Uma breve reflexão acerca da noção de conceito e dos níveis da Química	102
Resultados e discussões	104
Considerações finais	112
3.3 Artigo 3: Análise de Livros Didáticos do Ensino Superior de Química: um olhar acerca das Interações Intermoleculares	115
Introdução	116
Metodologia	116
Resultados e discussões	118
Considerações finais	132
3.4 Artigo 4: Entre conceito e páginas: um percurso das ideias de Interações Intermoleculares nos livros históricos de Química	136
Introdução	137
Metodologia	138
A Discussão das Interações Intermoleculares no Brasil	141

<i>Percursos na Europa nos séculos XIX e XX.....</i>	<i>146</i>
<i>Considerações Finais</i>	<i>150</i>
3.5 Artigo 5: Um percurso epistemológico: a possível origem das Interações Intermoleculares	58
Introdução	60
Metodologia	61
Trilhando caminhos científicos: a gênese das Interações Intermoleculares	62
Interações de van Der Waals.....	83
Encaminhamentos finais	95
3.6 Artigo 6: Mapeando Perfil Epistemológico: a Química ensinada é clássica.....	153
Introdução	155
Referencial teórico	156
Metodologia	159
A Química ensinada é clássica.....	161
Considerações finais	171
4 Considerações Finais sobre a Pesquisa de Mestrado	174

1 Introdução: ponto de partida da investigação

A Ciência Química apresenta uma relevância na sua compreensão para além da simples obtenção de conhecimento específico. Assim, destacamos seu papel abrangente em várias dimensões da vida e sociedade. Deste modo, é possível considerar que os conteúdos que devemos abordar para ensiná-la devem estar em frequente reavaliação de sua importância e do momento em que deve ser abordado.

No domínio da Química, atualmente, para a constituição da matéria, é considerado que é formada por átomos, moléculas e íons, ainda que saibamos da existência de outras subpartículas, as citadas são as comumente mais usadas. Neste sentido, podemos pensar nos conceitos que surgem diretamente do desdobramento dos entendimentos que envolvem a estrutura da matéria, como as Interações Intermoleculares, para a compreensão do mundo.

A escolha de investigar sobre o conceito de Interações Intermoleculares se legitima, uma vez que se compreende a importância desse conceito para a Química nas suas diferentes áreas: Química Geral, Química Inorgânica, Química Orgânica, Química Analítica, Físico-Química, Bioquímica, Materiais e outras (Rocha, 2001). Dada sua amplitude de inserção nas discussões que permeiam a Química, nesta investigação, assumimos as Interações Intermoleculares como um conceito fundamental a essa Ciência.

Segundo Miranda (2018), os conteúdos que envolvem as Interações Intermoleculares são importantes para a compreensão das propriedades da matéria, como temperatura de fusão e ebulição, solubilidade, densidade e viscosidade. Rocha (2001) define que

as interações intermoleculares surgem devido as forças intermoleculares, que são essencialmente de natureza elétrica, e fazem com que uma molécula influencie o comportamento de outra molécula em suas proximidades (Rocha, 2001, p.33).

A compreensão da natureza corpuscular da matéria colabora para descrever e explicar sua estrutura nos diversos estados termodinâmicos em que se manifesta, tais como os estados sólido, líquido e gasoso. Além disso, para compreender suas propriedades físicas e todas as alterações que podem ocorrer em sua estrutura, tanto

de natureza física quanto química (Pozo; Crespo, 2009). Essas diferenças entre os estados, suas propriedades e as possíveis transformações estão intrinsecamente ligadas aos tipos de interações, que variam de acordo com os tipos de espécies químicas presentes.

Com relação ao Ensino de Química, os Livros Didáticos (LDs) são instrumentos mediadores entre o conhecimento científico e o aprendizado dos estudantes. De acordo com Moreira (2011), eles estruturam os conteúdos, organizam os conceitos e fornecem subsídios para o desenvolvimento de habilidades cognitivas, experimentais e reflexivas. No entanto, para que sejam efetivos, esses materiais devem estar alinhados a bases epistemológicas, integrando aspectos teóricos e práticos e promovendo um ensino contextualizado e crítico (Gil-Pérez; Villani, 1997).

Diante da relevância do tema de Interações Intermoleculares, consideramos ser necessário adotar uma abordagem teórica que nos ofereça uma base epistemológica para analisar a construção desse conceito e como ele se apresenta em diferentes LDs. Nesse sentido, recorreremos às noções do Perfil Epistemológico, conforme proposto por Gaston Louis Pierre Bachelard na sua obra *A Filosofia do Não* (1991). De acordo com essa proposta, os indivíduos atribuem significados distintos em diferentes contextos, definidos em um perfil com zonas filosóficas distintas. Assim, a compreensão de um determinado conceito não é derivada de um único sistema epistemológico.

Considerando essas questões, o presente estudo tem como objetivo geral analisar o Perfil Epistemológico presente em diferentes materiais didáticos, abrangendo livros do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), livros destinados ao Ensino Superior e Obras Históricas, com foco específico nas abordagens e compreensões relacionadas ao conceito de Interações Intermoleculares.

Para melhor compreensão do leitor destacamos que a presente dissertação será apresentada começando pela “Introdução: ponto de partida da investigação”. Posteriormente será apresentado o referencial teórico intitulado: “Gaston Bachelard e as Zonas Filosóficas: Contribuições para o Ensino de Química”. Iniciando por uma breve localização de discussões acerca da área de História, Filosofia e Epistemologia da Ciência (HFEC) e a apresentação e discussões do autor que propõe as noções que aqui serão utilizadas de Perfil Epistemológico.

A seguir, a dissertação apresentará seis artigos, que nos permitem a busca pela resposta ao nosso grande questionamento de pesquisa, que frisamos se tratar de investigar qual o Perfil Epistemológico de Interações Intermoleculares está sendo mobilizado em materiais didáticos e os atravessamentos no Ensino de Química.

Para tanto, o primeiro artigo denominado “*Perfil Epistemológico e Perfil Conceitual: usos, abusos e confusões?*”, como o próprio título sugere, constitui uma revisão da literatura acerca do Perfil Epistemológico e Perfil Conceitual, o objetivo no cerne dessa investigação circula em pontuar as semelhanças e principalmente as diferenças existentes entre essas duas noções, a fim de indicar qual das duas seriam utilizadas nesta investigação. Em suas gêneses, o Perfil Epistemológico caracterizou as zonas filosóficas do conhecimento científico e suas transformações, enquanto o Perfil Conceitual focou na evolução das ideias e na interação com o contexto social e cultural. As diferenças entre as proposições desses perfis e seus empregos nas pesquisas revisadas revelaram tensões teóricas e metodológicas, principalmente na relação entre epistemologia e pedagogia. De tais elementos emerge a ideia de que, em certa medida, o uso desses conceitos é desenvolvido com alguns abusos e confusões, ruídos que essa etapa da investigação busca problematizar.

Após esse movimento de investigar e selecionar o Perfil Epistemológico como sendo a noção que guiará essa pesquisa, e como nosso conceito de interesse é abordado em diferentes materiais didáticos, o segundo artigo nomeado “*Um percurso epistemológico: a possível origem das Interações Intermoleculares*”, destaca o movimento inicial para parte da pesquisa que se debruça sob nosso conceito de interesse – as Interações Intermoleculares – percorrendo, por uma perspectiva epistemológica, a construção do conceito *per se*. Assim, essa etapa busca apresentar o que assumimos ser as principais contribuições para a construção do conceito de Interações Intermoleculares.

No terceiro artigo, “*Uma análise dos conceitos de Interações Intermoleculares discutidos nos livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do PNLD 2021*”, o principal objetivo constitui analisar como livros didáticos do PNLD 2021 utilizados no Ensino Médio discorrem sobre o conceito de Interações Intermoleculares. Dessa forma, por meio de uma Análise de Conteúdo fundamentada nos princípios de Bardin (1977), identificamos distintas abordagens ao conceito em questão nesses materiais,

emergindo três categorias: Descrição do Conceito, Representação do Conceito e Aplicação do Conceito.

O quarto artigo, *“Análise de livros didáticos do Ensino Superior de Química: um olhar acerca das Interações Intermoleculares”*, tem como objetivo principal revisar como os livros didáticos, empregados no Ensino Superior de Química abordam o conceito de Interações Intermoleculares. Diante do exposto, ao empregarmos a análise de conteúdo de Bardin (1977), observamos uma variedade de definições associadas a esse conceito, emergindo dessa investigação quatro categorias denominadas como: *Definição do Conceito, Representação do Conceito, Aplicação do Conceito e Abordagem Histórica*.

Similarmente, o quinto artigo *“Entre conceito e páginas: um avanço das ideias de Interações Intermoleculares nos Livros Históricos”*, objetiva investigar sobre o conceito, mas, em Obras Históricas. Para alcançar esse objetivo, realizamos uma análise documental de sete Obras Históricas que abordam o conceito em questão. A análise documental foi conduzida com o propósito de examinar como o conceito de Interações Intermoleculares foi tratado e modificado ao longo do tempo em textos científicos antigos. As obras selecionadas foram escolhidas com base na relevância histórica e científica, oferecendo um panorama abrangente das abordagens e interpretações em materiais que foram produzidos nos séculos XVIII e XIX.

O sexto e último artigo deste estudo é dedicado à análise empírica, estruturando o mapeamento do Perfil Epistemológico dos três diferentes tipos de materiais didáticos analisados: livros do PNLD, materiais de Ensino Superior e Obras Históricas. Os resultados indicam que a zona filosófica predominante em todos os materiais é o Racionalismo Clássico, refletindo uma abordagem tradicional da Química. Essa constatação ressalta que a formação Química proporcionada pelos materiais estudados segue um modelo clássico, o que permite a reflexão acerca das implicações desse Perfil Epistemológico na nossa área de estudo. A predominância do Racionalismo Clássico aponta para desafios relacionados à inovação e contextualização no ensino, levantando reflexões sobre como os materiais didáticos podem contribuir para um ensino mais crítico e alinhado às demandas contemporâneas.

Nas considerações finais, buscou-se traçar um eixo de problematização no campo do Ensino de Química, atravessado pelo olhar epistemológico. Dessa forma, constatou-se uma evidente carência de discussões sobre a natureza da ciência nos materiais didáticos analisados, evidenciada principalmente pela predominância da mobilização da zona filosófica do Racionalismo Clássico nesses recursos. Essa limitação reflete aspectos como, por exemplo, a ausência de reflexões mais aprofundadas acerca do papel do cientista e dos processos de construção e desenvolvimento de teorias. Nesse cenário, torna-se imperativa a reavaliação das abordagens epistemológicas presentes nesses materiais, visando à inclusão de perspectivas mais plurais e integradoras. Essas abordagens devem estabelecer uma articulação entre a tradição científica consolidada e as demandas contemporâneas, promovendo um ensino mais crítico e alinhado aos desafios e complexidades da sociedade atual.

Diante do exposto, de forma sintética, ressaltamos que o Capítulo 2, assim como o Artigo 1, fundamenta-se no aprofundamento teórico dos referenciais adotados. Os Artigos 2, 3 e 4 dedicam-se a uma análise ampla sobre como os materiais utilizados no ensino configuram um tipo específico de Química. Por sua vez, o Artigo 5 apresenta uma discussão epistemológica detalhada acerca do processo de construção do conceito químico. Finalmente, o Artigo 6 constitui a síntese e a confluência das discussões desenvolvidas ao longo do trabalho.

2 Gaston Bachelard e as Zonas Filosóficas: Contribuições para o Ensino de Química

2.1 História, Filosofia e Epistemologia no Ensino de Química

A inserção de aspectos que envolvem o campo da HFEC está sendo estudada por diversos pesquisadores da área do Ensino de Química (Chassot, 2000; Millar, 2003; Matthews, 2014). Nesta perspectiva, Lobo (2008) afirma que o Ensino de Química não deve se limitar a princípios e leis (fixos e invariáveis) aplicados aos fenômenos químicos (característica pertencente ao positivismo).

Portanto, é possível considerar estratégias pedagógicas, didáticas e metodológicas que tenham a capacidade de minimizar essas limitações. Nesse sentido, podemos explorar a utilização da HFEC como um poderoso campo, uma vez que essa abordagem pode servir como estratégia para aprimorar o Ensino da Química. Além disso, defensores da HFEC enfatizam que a abordagem deste campo permite uma visão mais ampla e abrangente do processo social e coletivo de construção do conhecimento científico. Em vez de reduzir a Ciência a um método estritamente lógico e objetivo, a HFEC amplia o escopo da construção do conhecimento científico e contribui para uma visão mais realista e completa da Ciência em nossa sociedade (Martins, 2006); proporciona significado aos conteúdos, uma vez que uma compreensão mais profunda dos conceitos ocorre quando se compreende o contexto de sua origem (Loguércio; Del Pino, 2007); fomenta a perspectiva crítico-transformadora no estudante de licenciatura, ao envolvê-lo com a história do conhecimento e, assim, incentivando uma postura ativa deste em relação à Ciência (Moura; Silva, 2014); pode contribuir para a humanização das Ciências, aproximando-as dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade. Além disso, torna as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, o que, por sua vez, possibilita uma compreensão mais abrangente (Matthews, 1995).

Portanto, podemos considerar que o Ensino de Química pode ser enriquecido ao introduzir a HFEC, pois colabora na compreensão de como o conhecimento químico é fundamentado, bem como na identificação da natureza temporária e construída das teorias científicas, promovendo uma compreensão mais significativa e crítica da disciplina.

2. 2 A epistemologia de Gaston Bachelard, e suas contribuições para o Ensino de Química

A epistemologia de Gaston Bachelard foca na filosofia da construção do conhecimento científico, enfatizando o processo de ruptura com noções preconcebidas, a superação de obstáculos epistemológicos e a evolução das concepções científicas (Bachelard, 1996).

A epistemologia bachelardiana emerge no contexto das revoluções no meio do pensamento científico do final do século XIX ao início do século XX, que incluem a teoria da relatividade, a física quântica e as geometrias não euclidianas. Bachelard (1996) afirma que o pensamento científico seria explicado em três momentos distintos: o estado pré-científico, que abrange desde a antiguidade clássica até o século XVIII; o estado científico, que compreende o período do final do século XVIII até o século XX; e o novo espírito científico, que se inicia com as publicações de Einstein em 1905. A busca para compreender as razões por trás das inovações científicas o levou a mergulhar na análise do contexto histórico da ciência (Lima; Marinelli, 2011). Ao investigar a evolução do conhecimento científico até o seu tempo, constatou que a Ciência mais contemporânea tratava de objetos teóricos que estavam distantes da realidade imediata; essa separação do mundo tangível possibilitou a criação de novos conhecimentos, aproximando-se gradualmente da abstração (Bachelard, 1996).

A inquietação de Bachelard acerca da necessidade de reflexão filosófica sobre a prática científica revela o caráter pioneiro de suas ideias e a potência de sua epistemologia para aqueles que atuam na prática científica e no Ensino de Ciências (Lobo, 2008). Dentro do cenário educacional, um dos tópicos amplamente debatidos por educadores em Ciências é a complexidade que os alunos enfrentam ao tentar compreender os conceitos científicos. No contexto do Ensino de Química, especialmente em relação aos conceitos derivados da Mecânica Quântica, como por exemplo a própria Interação Intermolecular, surge uma notável dificuldade de compreensão. Esse desafio é atribuído à necessidade de lidar com níveis mais elevados de abstração. Como observa Bachelard, a Química contemporânea transcende a mera memorização, transformando-se em uma disciplina matemática e teórica. Essa Química, incorpora uma racionalidade substancialmente distinta daquela do senso comum, uma vez que rompe com as impressões iniciais associadas ao Realismo Ingênuo e aumenta o patamar de complexidade (Bachelard, 1991).

Para Bachelard (2000), a Ciência é uma ruptura com o senso comum. O conhecimento científico depende tanto da razão como da experiência, pois ele se desenvolve a partir do contraste com o conhecimento anterior. Sendo assim, sua tese principal é a descontinuidade evidenciada na História das Ciências. A ciência não se limita a acumular inovações, mas, em vez disso, ela se dedica a sistematizar e coordenar conhecimento. Da mesma forma, o cientista não faz descobertas completamente inéditas, em vez disso, ele aprimora a organização do conhecimento existente. Ou seja, o essencial não é simplesmente acumular fatos e documentos, mas sim reconstruir o saber por meio de atos epistemológicos que reorganizam e transformam a evolução de uma determinada área das ciências (Santos; Nagashima, 2015).

As ideias de Bachelard (1991) que serão discutidas estão centradas principalmente na obra *A Filosofia do Não*. O conhecimento científico trata-se de um permanente questionar, um permanente "não"; no entanto, não no sentido de negação, mas no sentido de conciliação. Cada nova experiência repensa a experiência anterior, impulsionando, desse modo, o progresso do pensamento científico (Bachelard, 1991). Dentro dessa abordagem, os erros desempenham um papel relevante, uma vez que são oportunidades de retificações.

A ruptura sugerida por Bachelard entre conhecimento científico e senso comum não implica necessariamente que, pensando no Ensino de Ciências, o estudante deva descartar os conhecimentos adquiridos em sua vida cotidiana. Esses conhecimentos são usados para solucionar problemas diários. O objetivo é que o estudante adquira uma nova cultura, a científica, que pode ser aplicada de forma flexível para resolver uma variedade de problemas, independentemente do contexto em que surgem (Santos; Nagashima, 2015).

Embora Bachelard não faça discussão explícita à pesquisa na formação do professor, é possível inferir de sua obra uma ênfase na construção do novo, na criatividade e na inventividade. Nesse contexto, ao defender um processo de descoberta do novo, por meio da análise da história das ideias científicas, envolve um processo de críticas e retificações. Assim, Bachelard introduz, de certa forma, ideias que podemos aproximar da noção de pesquisa na formação de professores e ressalta a importância de certos hábitos intelectuais que podem obstaculizar a renovação do pensamento, ou seja, podemos utilizar dessas percepções para

reconstruir nossas concepções da própria formação de docentes.

Neste sentido, Bachelard (1996), destaca que:

[...] é preciso, pois, evitar o desgaste das verdades racionais que têm tendência a perder a apodicticidade e a tornar-se hábitos intelectuais. Balzac dizia que os solteirões substituem os sentimentos por hábitos. Da mesma forma, os professores substituem as descobertas por aulas. Contra essa indolência intelectual que nos retira aos poucos o senso da novidade espiritual, o ensino das descobertas ao longo da história científica pode ser de grande ajuda. Para ensinar o aluno a inventar, é bom mostrar-lhe que ele pode descobrir (Bachelard, 1996, p. 303).

De acordo com Zimmermann e Bertani (2003), aplicando essa concepção de ruptura à formação de professores, podemos concluir que, para ocorrer a mudança de uma abordagem autoritária para uma abordagem reflexiva em sala de aula, é preciso superar os obstáculos, para que assim haja o rompimento da prática tradicional. Assim, quando se encontra dificuldade em romper com uma prática tradicional, isso sinaliza a presença de um obstáculo epistemológico (Bachelard, 1996).

Relacionando as concepções de obstáculo epistemológico com as Interações Intermoleculares, ressaltamos a diversidade de terminologia associada a esse conceito em materiais acadêmicos, incluindo livros, artigos e documentos. Diferentes denominações, como Interações Intermoleculares, Interações Moleculares e Forças Intermoleculares, são empregadas para descrever esse fenômeno. Uma distinção significativa entre os termos reside na diferença entre "Interações" e "Forças". Enquanto o termo Interações Intermoleculares é mais amplo e refere-se às diversas formas de atração ou repulsão entre moléculas, Forças Intermoleculares é uma expressão mais específica que diz respeito às forças particulares que atuam entre moléculas (Jasien, 2008). Essas forças podem variar desde as mais fracas, como as forças de dispersão, até as mais fortes, como as ligações de hidrogênio.

A concepção epistemológica com a qual trabalharemos é compreendida como a construção do conhecimento científico, como propõem Moreno e Waldegg (1998, p. 422): "a epistemologia, em sua versão contemporânea, se propõe ao estudo da natureza do conhecimento científico e das circunstâncias de sua produção". Outros pesquisadores, como Lopes (1993), Mortimer (1996), Oliveira (2000) e Delizoicov (2001) têm utilizado noções epistemológicas de Bachelard como base de suas pesquisas na área de Ensino de Ciências.

Pensando nisso, utilizamos como referencial epistemológico a perspectiva bachelardiana e suas noções de Perfil Epistemológico (Figura 1). Segundo Bachelard(1991), o Perfil Epistemológico considera a coexistência de diferentes perspectivas filosóficas para um mesmo conceito científico, para análise desse perfil são utilizadas as zonas filosóficas, que se dividem em cinco, sendo elas o Realismo Ingênuo, que está relacionado ao senso comum, normalmente marcado por obstáculos epistemológicos como o animismo ou a primeira observação. O Empirismo, em que há uma maior relação com a experiência em si, com o material, onde os termos científicos começam a surgir, porém sem estabelecer relações racionais. O Racionalismo Clássico ou tradicional, que considera que a construção do conceito ocorre por meio da racionalização, sendo assim, a experiência é complementada como uso da razão. O Racionalismo Completo, que pode ser entendido como o aumento do grau de abstração e complexidade. E o Racionalismo Discursivo, que é baseado na probabilidade em que o pensamento vai para além do racional (dialética entre processos dedutivos e indutivos). Essa ordem considera a elevação do nível abstracional da construção dos conceitos. Sendo assim, podemos pensar que qualquer conceito vai se tornando mais racional conforme a construção do conhecimento vai avançando nas zonas filosóficas.

Figura 1: Perfil epistemológico de Bachelard para o conceito de massa.



Fonte: (Bachelard, 1991, p. 25).

Portanto, em sua obra chamada *A Filosofia do Não*, publicada originalmente no ano de 1940, Bachelard ilustra sua própria dispersão filosófica em relação aos conceitos de massa e energia, representada na Figura 1 (Bachelard, 1991). Nesta representação, o eixo x (horizontal) representa as filosofias, em ordem crescente do aumento da abstração, da esquerda para a direita, e o eixo y (vertical) as alturas das barras representam a importância relativa da filosofia para a definição do

conceito investigado. O autor não aborda as categorias epistemológicas mencionadas anteriormente como obstáculos, pelo contrário, ele as considera como categorias filosóficas fundamentais para o avanço da compreensão do desenvolvimento de um conceito científico do Realismo Ingênuo ao Racionalismo Discursivo.

2.3 Explorando as Zonas Filosóficas das Interações Intermoleculares

Na presente seção, abordaremos as cinco zonas delineadas por Bachelard, as quais constituem suas considerações fundamentais sobre o Perfil Epistemológico, e as exploraremos em conexão com o conceito de Interação Intermolecular. Ao fazer isso, buscamos estabelecer uma intersecção entre a filosofia epistemológica de Bachelard e os princípios subjacentes ao estudo das Interações Intermoleculares.

Realismo ingênuo

A noção de "Realismo Ingênuo" é frequentemente empregada para descrever as crenças do senso comum, que tende a acreditar na realidade objetiva das coisas, conforme destacado por Abbagnano (2007, p.577). Nessa zona de compreensão, não há uma busca pela sistematização ou elaboração de teorias complexas, pois as coisas são percebidas como reais e acessíveis aos sentidos de maneira direta.

Neste contexto, com base nas discussões de Bachelard (1991), são hipóteses são encaradas como "teorias" simplificadas com as quais o indivíduo lida de forma localizada com as situações do cotidiano. Não há uma preocupação explícita com a construção de um sistema conceitual elaborado; em vez disso, as pessoas confiam na percepção sensorial imediata e na experiência direta para compreender e lidar com o mundo ao seu redor.

Essa abordagem simplista pode ser observada em diversas esferas da vida cotidiana, onde as pessoas tendem a aceitar as aparências como realidade e a adotar explicações básicas para os fenômenos que encontram. Embora o Realismo Ingênuo possa ser funcional em muitas situações práticas, ele também pode limitar a compreensão mais profunda dos fenômenos complexos e das relações entre eles. Assumimos como sendo importante reconhecer que o Realismo Ingênuo não é necessariamente uma postura negativa; muitas vezes, é uma maneira natural e

intuitiva de interagir com o mundo. No entanto, é fundamental estar ciente de suas limitações.

Bachelard (1979) descreve esta zona do perfil epistemológico como sendo marcada pelo imediatismo na formação de afirmações, pela dependência da apreciação visual, pelo emprego inconsistente de teorias fragmentadas, que são não sistemáticas e limitadas a contextos específicos, e por uma escassez quase total de generalização. Conforme apresentado anteriormente, ele ilustra isso utilizando o exemplo do conceito de massa, afirmando que para o Realismo Ingênuo a massa é percebida como algo grande, com volume, algo que se torna quantitativo se for suficientemente grande.

Da noção de massa em Bachelard para a presente discussão centrada no conceito de Interação Intermolecular, na primeira escola filosófica, Realismo Ingênuo, o conceito de Interação Intermolecular pode ser caracterizado pela interpretação direta e superficial das forças que atuam entre as moléculas, sem uma consideração detalhada dos mecanismos envolvidos.

Para o Realismo Ingênuo, as Interações Intermoleculares podem ser frequentemente percebidas de forma simplista. Por exemplo, as propriedades físicas das substâncias, como a solubilidade em água, podem ser interpretadas apenas com base em observações superficiais. Por exemplo, num Realismo Ingênuo, toda a questão sobre as possíveis interações existentes pode ser reduzida numa ideia de mistura. Algo “se mistura” ou não “se mistura”. À própria substância, entendida numa simplicidade, concorrem elementos quase que de uma “vontade”, assim como limitadas a um processo de “sim” ou “não”. Anomalias a essa expectativa, como a redução do volume final quando da mistura entre etanol e água, não são compreendidas nesse momento; nem mesmo existem para esse perfil.

Além disso, no realismo ingênuo, as Interações Intermoleculares podem ser erroneamente equiparadas a conceitos mais familiares, como a ideia de “colagem” entre as moléculas ou uma espécie de “corda” unindo duas moléculas. Taber (2002) explora como estudantes, frequentemente, aplicam ideias de senso comum e simplificadas ao estudar conceitos de química. Ele discute a confusão entre ligações químicas e forças intermoleculares, apontando que, para muitos alunos, qualquer tipo de atração entre partículas é interpretado como uma “ligação” forte e

permanente. Essa abordagem simplificada pode levar a interpretações imprecisas ou incompletas das propriedades e comportamentos das substâncias.

Empirismo

A transição da primeira para a segunda escola filosófica é marcada pela objetivação do conceito, um ponto de virada fundamental na evolução do pensamento científico. Essa transição é especialmente evidente ao considerarmos a doutrina do Empirismo, que possibilita a medição da massa de forma objetiva e unívoca. Bachelard (1979) destaca essa mudança ao descrever essa zona como caracterizada por um uso cuidadosamente empírico e com determinações objetivas e precisas.

No contexto do exemplo fornecido por Bachelard, o conceito de massa torna-se objeto de objetivação através do uso da balança, uma ferramenta instrumental que oferece imediatamente uma medida quantitativa da massa de um objeto. Esta objetividade instrumental permite uma abordagem técnica e direta, baseada em experiências concretas, onde objetos podem ser medidos, pesados e comparados de maneira precisa (Melo, 2021).

O Empirismo, então, pode ser entendido como uma prática e técnica instrumentais direcionadas, realizadas a partir de observações e experimentações concretas. Seu objetivo principal é buscar regularidades e padrões nas observações, de modo que leis e princípios gerais possam ser formulados. Por meio da experimentação sistemática e da análise cuidadosa dos resultados, o Empirismo busca estabelecer relações causais entre fenômenos observados, permitindo a construção de um corpo de conhecimento científico mais sólido e fundamentado.

Essa abordagem marca uma ruptura significativa com o Realismo Ingênuo da primeira escola filosófica, em que a compreensão dos fenômenos naturais era frequentemente baseada em percepções superficiais e observações simplificadas. Com o Empirismo, a ciência avança para uma fase mais rigorosa e sistemática, na qual a objetividade e a precisão são valorizadas como ferramentas essenciais para a investigação científica.

Ao considerar o conceito de Interações Intermoleculares na química sob essa perspectiva, talvez valha discutir que a questão não se limita a um fisicismo da massa, mas envolve uma base igualmente macroscópica sobre quais partículas

interagem ou não e sobre quais são mais facilmente alteradas. Por exemplo, ao investigar as propriedades de substâncias polares e apolares, empiricamente é realizada uma série de experimentos para observar diretamente como as moléculas reagem em diferentes condições. Isso inclui a medição de temperaturas de fusão e ebulição, análise de solubilidade e observação de propriedades físicas, acumulando dados experimentais que sustentam a compreensão das Interações Intermoleculares (Sousa, 2015).

Além disso, reforçamos as concepções errôneas comuns entre os estudantes, como a ideia de que substâncias com massas maiores sempre terão interações mais fortes. Na verdade, a força das Interações Intermoleculares depende de fatores como polaridade e a presença de forças de van der Waals, e não apenas da massa. Por exemplo, a água (H₂O), que é uma molécula polar, possui pontos de fusão e ebulição relativamente altos em comparação com substâncias apolares de massa molecular semelhante, devido às fortes ligações de hidrogênio entre suas moléculas.

Portanto, ao discutir as Interações Intermoleculares, é essencial considerar uma base macroscópica que envolva a natureza das interações e a facilidade de alteração das substâncias, corrigindo concepções errôneas e fundamentando-se em dados experimentais para uma compreensão mais precisa.

Racionalismo Clássico

Ao explicar a terceira escola filosófica, o Racionalismo Clássico, Bachelard destaca sua formação concomitante ao surgimento da mecânica racional de Newton, no final do século XVII. Ele ressalta que, nesse sentido, há uma transição da utilização simplista e absoluta de uma única noção para a utilização correlativa de múltiplas noções. Segundo Bachelard (1979), a noção de massa deixa de ser definida apenas como um elemento primitivo de uma experiência imediata e direta, e passa a fazer parte de um conjunto de conceitos interrelacionados.

O autor explica que, antes de Newton, o estudo da massa se concentrava em sua essência, como uma quantidade da matéria. No entanto, após Newton, a abordagem muda, e a massa é investigada em relação ao desenvolvimento dos fenômenos, tornando-se um coeficiente de mudança ou *devir*.

Essa mudança de perspectiva representa uma evolução significativa no pensamento científico, no qual as noções básicas não são mais consideradas

isoladamente, mas sim em conjunto com outras noções, permitindo uma compreensão mais abrangente e precisa dos fenômenos naturais. E mais do que isso, a correlação entre a matematização dessas noções e emprego de leis. O Racionalismo Clássico, portanto, valoriza a análise racional e sistemática das relações entre conceitos, promovendo uma compreensão mais profunda e integrada do mundo ao nosso redor.

Ainda, destaca que o racionalismo e o Empirismo não devem ser vistos como posturas epistemológicas antagônicas, ou seja, não se pode atribuir o conhecimento exclusivamente a esforços de uma ou outra vertente. A verdade científica se revela no constante diálogo entre o racional e o empírico. No entanto, um aspecto marcante da epistemologia de Bachelard é a ênfase dada às construções racionais, que não apenas precedem, mas também tornam possível e organizam a experiência (Melo; Peduzzi, 2007)

A zona filosófica do Racionalismo Clássico, quando aplicada ao conceito de Interações Intermoleculares, pode ser caracterizada por sua abordagem sistemática e lógica na compreensão desses fenômenos. Enfatizando a importância da razão, da dedução lógica e da análise conceitual na busca pelo conhecimento científico. Nesse contexto, as Interações Intermoleculares são entendidas de forma matematizada que podem ser deduzidos a partir de uma estrutura teórica coerente.

Uma das características distintivas do Racionalismo Clássico se trata da ênfase na construção de teorias e modelos explicativos sólidos e coerentes. Nesse contexto, as Interações Intermoleculares são compreendidas não apenas como simples manifestações de princípios físicos fundamentais, como as leis da termodinâmica, mas como conjunções de modelos complexos. Por exemplo, pode ser articulada com questões de polaridade e força eletrostática, criando uma noção mais profunda de interação. Essas interações são então exploradas através da formulação de hipóteses que são rigorosamente testadas por meio de análise lógica e dedução, permitindo a previsão de comportamentos moleculares e a compreensão detalhada das propriedades das substâncias (Pozo; Crespo, 2009).

Sendo assim, nesta zona, o conceito de Interações Intermoleculares pode ser considerado dentro de um contexto científico, distanciando-se gradualmente da experiência direta e adquirindo uma forma mais racional, abstrata e matemática. Uma contribuição histórica relevante para essa concepção foi proporcionada pelos estudos de cientistas como van Der Waals e outros, que inicialmente atribuíram

características quantitativas às interações entre moléculas.

No entanto, é com o desenvolvimento da teoria cinética dos gases que o entendimento das Interações Intermoleculares começa a se consolidar de maneira mais matematizada. A abordagem de Boltzmann, por exemplo, introduziu conceitos como o movimento molecular aleatório e a distribuição de velocidades das moléculas, fornecendo uma descrição mais precisa e formal das interações entre as partículas (Seribeli; Maximiano, 2022).

Assim, no Racionalismo Clássico, o estudo das Interações Intermoleculares segue uma trajetória de abstração crescente, buscando compreender esses fenômenos por meio de modelos matemáticos e conceituais cada vez mais refinados e independentes das percepções individuais. Essa abordagem sistemática e lógica é essencial para uma compreensão profunda e abrangente das complexas dinâmicas que governam o comportamento das moléculas na natureza.

Racionalismo completo

A quarta escola filosófica, conhecida como Racionalismo Completo, emerge com o advento da teoria da relatividade, caracterizada pela multiplicação, segmentação e pluralização do Racionalismo Clássico. No tocante ao conceito de massa, Bachelard esclarece que esta não é mais considerada acerca da heterogeneidade da energia, uma vez que agora é expressa em função da velocidade. Em outras palavras, nesse paradigma, massa e energia estão intimamente interligadas, notadamente na equação $E=mc^2$ (relação entre energia (E), massa (m) e a velocidade da luz (c)).

O Racionalismo Clássico e o Racionalismo Completo, zonas propostas por Bachelard, diferem em suas abordagens epistemológicas e na maneira como entendem o processo de construção do conhecimento científico. O Racionalismo Clássico, influenciado pelas ideias cartesianas, destaca a razão e a lógica como fundamentos primordiais do conhecimento, sustentando uma visão rígida e dedutiva da ciência. Já o Racionalismo Completo, conforme descrito por Bachelard (1977), representa uma transição para uma abordagem mais dinâmica, em que o pensamento científico incorpora elementos experimentais e revisa constantemente suas bases. Essa evolução aponta para um racionalismo aplicado, que integra teoria e prática, rompendo com a rigidez do modelo clássico e permitindo uma ciência mais aberta à transformação e ao progresso.

Pensando nisso, podemos considerar que as Interações Intermoleculares estão diretamente relacionadas com a organização e as propriedades das substâncias. Esse conceito considera as variáveis como a distância entre moléculas e a natureza das forças intermoleculares, elementos fundamentais para compreender as propriedades físico-químicas das substâncias. No entanto, ele também abre espaço para reflexões críticas sobre os limites e a natureza dessas interações. Por exemplo, questões como a classificação de uma ligação de hidrogênio como interação ou ligação, o papel das distribuições eletrônicas em escalas infinitesimais, e os limites das leis que governam as interações em condições extremas (altas ou baixíssimas pressões e temperaturas) desafiam as concepções tradicionais. Além disso, fenômenos como a emergência de supercondutores sugerem que as Interações Intermoleculares talvez não existam isoladamente, mas como manifestações de dinâmicas quânticas eletrônicas. Essas indagações ressaltam a complexidade das Interações Intermoleculares e sua dependência de condições específicas, exigindo abordagens mais abrangentes e adaptáveis no estudo da Química atual.

Racionalismo Discursivo

Na última escola filosófica, conhecida como Racionalismo Discursivo ou dialético, Bachelard descreve uma abordagem em que o objeto do conhecimento é construído de forma discursiva e dialética. Nessa perspectiva, o conhecimento é visto como um processo contínuo de construção e reconstrução, no qual as ideias evoluem e se transformam ao longo do tempo (Bachelard, 1979). Bachelard utiliza a Mecânica de Dirac como exemplo para ilustrar como, na organização matemática do conhecimento, é essencial preparar o campo conceitual antes de definir os objetos.

Nesse contexto, o plano discursivo permite reconhecer contradições e explorar a lógica dessas interações, independentemente de sua representação no mundo tangível. Ainda, o Racionalismo Discursivo exemplifica esse princípio ao permitir que a Ciência avance para além de descrições fenomenológicas, alcançando níveis de abstração como os encontrados na física quântica, na teoria da relatividade ou em modelos matemáticos complexos. Por exemplo, a soma infinita de números naturais que resulta em um número negativo ($S=1+2+3+\dots=-1/12S$), embora contraintuitiva, exemplifica como o Racionalismo

Discursivo opera em um campo puramente teórico, cuja validade e aplicação dependem de um contexto epistemológico específico.

A importância do Racionalismo Discursivo reside na sua capacidade de promover a criatividade intelectual e abrir novas fronteiras para a ciência, mesmo que as ideias formuladas nesse domínio não se manifestem imediatamente no mundo empírico. Essa abordagem também questiona a dependência de paradigmas antigos, destacando a necessidade de um olhar crítico e inovador sobre as bases epistemológicas do conhecimento científico. Assim, o Racionalismo Discursivo se torna uma ferramenta indispensável para discussões acerca do conhecimento científico contemporâneo.

A partir do Racionalismo Discursivo, as Interações Intermoleculares podem ser interpretadas como pontos de intersecção entre diferentes níveis de abstração científica, indo além de explicações empíricas para abordar a organização conceitual que sustenta o conhecimento químico. Por exemplo, enquanto forças como as de Keesom (interações dipolo-dipolo) são frequentemente descritas como resultantes de alinhamentos entre momentos de dipolo permanentes, o Racionalismo Discursivo permite problematizar como essas forças se relacionam com os conceitos mais amplos de coesão molecular e estabilidade energética. Nesse sentido, a análise não se restringe às equações clássicas de energia potencial, mas questiona como os pressupostos teóricos emergem e se sustentam em um campo epistemológico que inclui tanto limitações quanto possibilidades criativas. Assim, as Interações Intermoleculares tornam-se um campo fértil para explorar a dialética entre teoria e prática.

Outro aspecto importante ao considerar as Interações Intermoleculares sob o Racionalismo Discursivo é a possibilidade de reinterpretar os modelos simplificados utilizados no ensino, como as forças de dispersão de London. Tradicionalmente apresentadas como forças resultantes de dipolos instantâneos e induzidos, essas interações podem ser discutidas em um nível mais abstrato ao incorporar conceitos quânticos, como flutuações no vácuo e correlações eletrônicas. Nesse contexto, o Racionalismo Discursivo permite articular esses fenômenos em um quadro mais completo, no qual os limites da observação empírica são superados por interpretações que envolvem elementos matemáticos e teóricos, como a dependência da energia em função da distância e as contribuições cumulativas de

múltiplas moléculas. Essa abordagem não apenas amplia o horizonte conceitual, mas também revela a complexidade intrínseca dessas interações.

2.4 O Perfil Epistemológico

Quanto à estrutura das noções que envolvem o Perfil Epistemológico, Bachelard destaca a importância de que o perfil seja específico para um determinado indivíduo, em relação a um conceito específico, em um estágio particular de seu desenvolvimento intelectual. Portanto, diferentes pessoas terão perfis distintos dependendo das noções em questão, e esses perfis também evoluirão com o tempo (Crotty, 1998). Assim, no mesmo indivíduo, em um momento específico, conceitos diferentes podem apresentar perfis diversos, como é evidenciado no caso de Bachelard em relação à massa e à energia. Observe-se que a proposta do epistemólogo não sistematiza uma análise psicologista, muito menos elenca questões de aprendizagem e seus processos. Mais como uma forma de representar ideias, o Perfil Epistemológico surge como um recurso gráfico ilustrativo a uma autoanálise que o autor faz. Mais do que o gráfico *per se*, o ponto central de sua discussão se consolida na evidenciação articulada e de coexistência de diferentes modos de pensar que atravessam um indivíduo. Da proposta psicanalítica à sua utilização como instrumento de análise, o ponto central é a possibilidade de que, no que tange aos conhecimentos que circulam num espaço, num indivíduo, num grupo, num material, etc. é possível evidenciar diferentes formas de conhecimento que são produtivos, ou seja, que produzem realidades, ideias e outros espaços de configuração. Essas formas de conhecer, ainda que distintas em sua complexidade, podem coexistir; podem ser analisadas coexistindo nesses mesmos espaços, indivíduos, grupos, materiais, etc. Assim, a análise a partir da qual aqui se apropria o texto é menos uma evidenciação de algo referente ao que se aprendeu ou ao que se sabe, mas é mais uma evidenciação de quais conhecimentos circulam e, por tanto, produzem as diferentes formas de compreender o mundo. Em sua multiplicidade, desses indivíduos, espaços, grupos, etc. é possível traçar um *perfil*: geral, abrangente, qualitativo, sobre essas formas de coexistência.

Podemos pensar, então, que, para Bachelard, a Ciência avança por meio de rupturas dos conhecimentos anteriormente, superando assim obstáculos epistemológicos para progredir rumo a uma compreensão mais aprofundada.

Reconhecendo que o conhecimento científico também é uma construção histórica e que o progresso científico ocorre à medida que supera concepções anteriores com o objetivo de alcançar uma interpretação mais sistemática do mundo. Contudo, essa superação não permite o abandono total dos conhecimentos anteriormente formados sob determinada filosofia, e é essa perspectiva que forma a ideia de *perfil*.

Ainda, segundo Lopes (1993), a noção de ruptura no conhecimento científico postulada por Bachelard indicam:

uma nova forma de compreender toda a história do conhecimento científico. A partir da recorrência histórica, desenvolvimento do conhecimento científico passa a ser compreendido por constantes rupturas: tanto na sucessividade quanto nasce uma eternidade temporal (Lopes, 1993 p. 267).

Essa perspectiva transcende a narrativa convencional de uma evolução linear e contínua, introduzindo a noção fundamental de rupturas constantes e recorrência histórica. Essas rupturas manifestam-se em descobertas revolucionárias, teorias inovadoras ou paradigmáticas que desafiam e redefinem os alicerces existentes. Um exemplo possível é a Revolução Copernicana, que representou uma ruptura na compreensão da posição da Terra no cosmos, marcando uma ruptura paradigmática.

Ao incorporar a ideia de recorrência histórica, essa abordagem sugere que determinados temas, questões ou desafios científicos podem surgir ciclicamente ao longo do tempo. Isso implica que, embora as circunstâncias e contextos específicos possam variar, há uma persistência subjacente em enigmas ou problemas fundamentais que desafiam a compreensão científica.

Diante do exposto, Mortimer (1992) afirma que a utilização do Perfil Epistemológico em sala de aula, assumindo por exemplo a História da Química como eixo orientador do processo de ensino, contribui para a superação de um ensino dogmático, uma vez que demarca as rupturas que ocorrem ao longo da história da construção dos conceitos e considera seu caráter fundamentalmente dinâmico.

Ainda, Mortimer (1996) em seus estudos sugere a proposta do Perfil Conceitual, que considera características epistemológicas e ontológicas dos conceitos científicos, e não apenas as epistemológicas (MORTIMER, 1996). Segundo o autor, no contexto de uma discussão no campo do Ensino/Educação como elemento focal, essa proposta seria mais adequada do que aquela puramente epistemológica de Bachelard. Uma vez que o presente estudo está localizado no campo da Educação Química, mas que se utiliza de ferramentas da epistemologia

para problematizar esse espaço, a articulação e diferenciação entre essas duas propostas é relevante para melhor caracterização deste estudo. Assim, as similaridades e discrepâncias entre essas duas noções serão exploradas de forma mais aprofundada no artigo a seguir. A partir dele, ratificaremos nossa posição pela proposta bachelardiana, haja vista o objetivo do estudo.

3 Artigos

3.1 Artigo 1

Perfil Epistemológico e Perfil Conceitual: usos, abusos e confusões?

Fernanda Karolaine Dutra da Silva; Vitória Schiavon da Silva Fábio André Sangiogo;
Alessandro Cury Soares; Bruno dos Santo Pastoriza

Publicação na revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências

Perfil Epistemológico e Perfil Conceitual: usos, abusos e confusões?

Epistemological Profile and Conceptual Profile: uses, abuses and confusion?

Resumo

Neste artigo realizamos uma revisão da literatura acerca de como os conceitos de *Perfil Conceitual*, proposto por Eduardo Mortimer, e *Perfil Epistemológico*, desenvolvido por Gaston Bachelard, estão sendo utilizados pela comunidade do Ensino de Ciências. Em suas gêneses, o Perfil Epistemológico caracterizou as zonas filosóficas do conhecimento científico e suas transformações, enquanto o Perfil Conceitual focou na evolução das ideias e na interação com o contexto social e cultural. As diferenças entre as proposições desses perfis e seus empregos nas pesquisas revisadas revelaram tensões teóricas e metodológicas, principalmente na relação entre epistemologia e pedagogia. De tais elementos emerge a ideia de que, em certa medida, o uso desses conceitos é desenvolvido com alguns abusos e confusões, ruídos que o presente texto busca problematizar.

Palavras-chave: Perfil Epistemológico; Perfil Conceitual; Ensino de Ciências.

Abstract

In this article, a literature review focused on how the concepts of Conceptual Profile, proposed by Eduardo Mortimer, and Epistemological Profile, developed by Gaston Bachelard, have been used and appropriated in the field of Science Education. In its genesis, the Epistemological Profile characterize philosophical doctrines of scientific knowledge and their transformations, while the Conceptual Profile focus on the evolution of ideas and their interaction with the social and cultural context. The differences between these profiles' propositions and their applications in the reviewed research revealed theoretical and methodological tensions, particularly in the relationship between epistemology and pedagogy. From these elements, emerges that the use of these concepts has been developed with some abuses and confusions, which this text aims to problematize.

Keywords: Epistemological Profile; Conceptual Profile; Science Education.

Resumen

En este texto realizamos una revisión bibliográfica sobre cómo los conceptos de *Perfil Conceptual*, propuesto por Eduardo Mortimer, y *Perfil Epistemológico*, desarrollado por Gaston Bachelard, son utilizados por la comunidad de la Enseñanza de las Ciencias. En sus génesis, el Perfil Epistemológico caracteriza las doctrinas filosóficas del conocimiento científico y sus transformaciones, mientras el Perfil Conceptual se centra en la evolución de las ideas y en la interacción con el contexto social y cultural. Las diferencias entre las proposiciones de estos perfiles y sus usos en las investigaciones revisadas revelaron tensiones teóricas y metodológicas, especialmente en la relación entre epistemología y pedagogía. De tales elementos surge la idea de que el uso de estos conceptos se desarrolla con algunos abusos y confusiones, que el presente texto busca problematizar.

Palabras clave: Perfil Epistemológico; Perfil Conceptual; Educación en Ciencias.

Introdução

A epistemologia, como campo de estudo filosófico, desempenha um papel fundamental no avanço do conhecimento científico. Ela se preocupa com questões relacionadas à natureza, origem, métodos e limites do conhecimento humano. Ao questionar como sabemos o que sabemos, a epistemologia proporciona uma estrutura crítica para a investigação científica (Veronez Júnior, 2021). Sendo assim, ajuda os cientistas a compreenderem as bases de suas teorias, a avaliarem a validade de suas conclusões e a reconhecerem as suposições subjacentes em seu trabalho. Uma compreensão abrangente da epistemologia é essencial para o progresso da ciência, pois permite aos pesquisadores refletirem sobre suas práticas e aprimorarem seus métodos (Galindo, 2021).

No contexto da formação docente, discussões acerca da epistemologia são igualmente potentes. Como mencionado por Cavalcanti et al. (2013), há uma relação direta entre a formação epistemológica e a formação docente. Uma boa formação epistemológica proporciona aos professores de ciências as ferramentas necessárias para compreenderem não apenas o conteúdo que estão ensinando, mas também os princípios que fundamentam esse conhecimento. Isso significa que os professores precisam entender não apenas o "o quê" do conhecimento científico, mas também o "como", o "porquê" e o "para quem" desse conhecimento (Becker & Marques, 2010; Howard et al., 2000).

A falta de desenvolvimento na formação epistemológica dos professores pode ter consequências negativas em sua prática pedagógica. Se os professores não compreenderem os fundamentos epistemológicos de suas disciplinas, é mais provável que as abordem de maneira superficial, ensinando informações sem contextualizá-las ou sem ajudar os estudantes a compreenderem os processos envolvidos na construção do conhecimento científico (Guimarães, 2024). Além disso, uma compreensão limitada da epistemologia pode levar os professores a adotarem abordagens dogmáticas em vez de incentivarem o pensamento crítico e a investigação por parte dos estudantes.

Das relações entre epistemologia das Ciências e Ensino de Ciências, duas noções muito potentes emergem e, no contexto deste trabalho, merecem atenção em termos de suas definições, limites, características e abordagens: o Perfil Conceitual e o Perfil Epistemológico. Uma vez que há diferenças entre si, entendemos que é importante à área de Ensino de Ciências o apontamento sobre suas características, relações, limitações e/ou distinções. Fazer isso visa contribuir para a área e seus estudos, auxiliando tanto para o desenvolvimento das pesquisas com fins "mais epistemológicos" quanto para aquelas com fins "mais voltados ao Ensino de Ciências". Além disso, ressaltamos que este estudo se baseia no problema relacionado aos diversos usos do Perfil Epistemológico e do Perfil Conceitual, que, em alguns casos, são aplicados sem uma clara compreensão de suas bases teóricas.

Diante do exposto, neste artigo realizamos uma revisão da literatura acerca dos conceitos de *Perfil Conceitual* e *Perfil Epistemológico*, evidenciando como as duas propostas estão sendo utilizadas pela comunidade do Ensino de Ciências. Para realizar essa análise, conduzimos uma revisão, sem limitar o tempo de pesquisa. A análise realizada proporcionou um método sistemático para extrair significados e padrões recorrentes nos materiais examinados.

O resultado obtido por meio desta investigação permitiu constatar como as diferentes propostas advindas das noções de Perfil Epistemológico e Perfil Conceitual estão sendo exploradas, e que muitas vezes existe uma falta de clareza com as diferenças no uso das duas propostas. Sendo assim, essa pesquisa buscou contribuir no entendimento dessas duas noções, suas potencialidades, fragilidades e limitações; seus usos, abusos e confusões.

Explorando e Diferenciando os Fundamentos Teóricos do Perfil

Epistemológico e do Perfil Conceitual

Perfil Epistemológico

A noção do Perfil Epistemológico foi proposta por Bachelard (1991) com o objetivo de caracterizar, por meio de uma psicanálise do conhecimento científico, as diversas formas possíveis de compreender e interagir com o mundo que determinado sujeito apresenta. Em sua formulação original, o autor define cinco zonas distintas: realismo ingênuo, empirismo, racionalismo tradicional, racionalismo completo e racionalismo discursivo. Sendo assim, a configuração do Perfil Epistemológico de uma pessoa em relação a um conceito específico é determinada pela frequência com que ela mobiliza cada uma das zonas para compreender o mundo físico. Neste sentido, torna-se relevante destacar que cada zona singular, ou seja, a evolução para uma nova zona só ocorre mediante a ruptura com os conhecimentos que envolvem a zona anterior, não por acumulação de conhecimento.

Destacamos que os traços que evidenciam uma possível preocupação de Bachelard em relação ao Ensino de Ciências está intrinsecamente ligada às suas inquietações sobre o processo de produção científica. Ele argumenta que o racionalismo aplicado ao objeto científico deve ser antecedido pela internalização do pensamento racional pelo sujeito. Segundo Bachelard (1977), "uma ontologia da ideia ensinada vem, então, revestir o racionalismo docente". Para o autor, esse racionalismo requer a transferência de um espírito para outro. Uma vez que sua abordagem não aprofunda a discussão sobre o processo dessa "alteração espiritual" (p.20), é possível assumir que Bachelard se mantém no limite do interesse epistemológico, não avançando em ações de explicação didática ou pedagógica. Ainda que possamos estabelecer relações, em nossa perspectiva atual, com o processo pedagógico de mediação didática, cabe ressaltar que o epistemólogo francês não avança nesse foco – um dos elementos centrais das diferenças entre as propostas de Perfis Epistemológico e Conceitual.

Na mediação didática, a ação pedagógica demanda uma racionalidade docente constante, vigilante para superar desafios como o desconhecimento, por parte do professor, das ideias pré-concebidas do estudante. Essas concepções, frequentemente enraizadas em um realismo ingênuo típico do senso comum, representam, para Bachelard, obstáculos epistemológico significativos que impedem a compreensão e assimilação dos conceitos científicos escolares. O autor destaca a necessidade de superar esse obstáculo pedagógico através de uma abordagem reflexiva e atenta por parte do professor, reconhecendo e abordando as concepções dos estudantes para promover uma aprendizagem mais eficaz. Todavia, ainda que aponte diversos elementos de nível didático, Bachelard não aprofunda suas discussões sobre a ação pedagógica na produção ou superação desses obstáculos. Em sua obra, observa-se um interesse maior em analisar como o obstáculo impede a complexificação da própria ciência, do que discutir a sua gênese ou superação por meio do processo social ou de ensino, por exemplo.

Após esta investigação da pesquisa, é importante ressaltarmos uma limitação significativa: a dificuldade real de traçar efetivamente um Perfil Epistemológico em uma pesquisa da atualidade nos moldes propostos por Bachelard – uma questão que evidenciamos em análises como aquela realizada por Martins (2004). A falta de uma discussão detalhada sobre o processo de construção por parte de Bachelard naturalmente torna esse procedimento mais desafiador. Além disso, a construção genuína do perfil, mantendo-se fiel à epistemologia de Bachelard, requer uma abordagem psicanalítica do conceito. Isso implica em um trabalho de autoexame consciente por parte do sujeito ou em uma análise conduzida por alguém capacitado para explorar a individualidade do sujeito (De Souza, 2006).

Apesar disso, reconhecemos que o referencial bachelardiano desempenha um papel fundamental no entendimento e na análise das possíveis evoluções dos Perfis Epistemológicos,

mesmo que essas evoluções sejam presumíveis. O uso desse referencial também permite a identificação de obstáculos de natureza epistemológica, que por sua vez podem servir como referência para o planejamento de ações de ensino e aprendizagem, conforme já desenvolvido por Lôbo (2008) e Melo & Amantes (2022).

Perfil Conceitual

Inspirado em Bachelard e outros autores, Mortimer (1996) apresenta seu modelo, intitulado de Perfil Conceitual. O autor justifica que sua proposta deriva das ideias de Bachelard, porém afirma que a nova nomenclatura é coerente devido à inserção de aspectos que, para ele, não estão presentes na noção de Perfil Epistemológico. Ainda, assevera, nesta proposta, que cada indivíduo manifestaria um perfil específico para cada conceito (Melo & Amantes, 2022).

Ao propor sua noção de Perfil Conceitual, Mortimer (1996) ressaltou seu intuito na busca da construção de um modelo que explicasse a evolução das ideias, estruturando essa investigação para um olhar tanto nas questões sociais de sala de aula quanto nos sujeitos de forma individual, como um resultado do processo de ensino.

As discussões de Mortimer destacaram uma das indagações fundamentais para aqueles envolvidos no Ensino de Ciências: a linguagem. Apoiado em Vygotsky (1979), um dos teóricos que foi apropriado por Mortimer no desenvolvimento posterior de suas ideias, existe uma interação significativa entre a linguagem e o pensamento, de modo que adquirir uma nova linguagem implica na aquisição de uma nova estrutura de pensamento, uma nova cultura e uma nova perspectiva do mundo.

Ou seja, as diferentes zonas mobilizadas no Perfil Conceitual de um sujeito refletem suas diversas visões do mundo. Cada zona demanda um processo de mediação didática e uma linguagem específica. Apesar das diferentes linguagens utilizadas em cada zona, a orientação didática do professor pode facilitar a interação entre várias linguagens sociais, convergindo para uma única linguagem. A partir dessa linguagem compartilhada, cada sujeito, inserido em uma cultura, interpreta os fenômenos sob estudo (Lôbo, 2008).

Mortimer e El Hani (2014) destacam que a componente axiológica das zonas de um perfil conceitual está associada aos valores e normas que orientam as escolhas e julgamentos dentro de cada uma dessas zonas. Cada zona de um perfil conceitual não apenas reflete diferentes formas de compreender um conceito científico, mas também incorpora os valores subjacentes que influenciam a maneira como essas compreensões são avaliadas e aceitas. Por exemplo, na zona empírico-indutiva, o valor central reside na observação empírica e na experimentação, enquanto na zona religiosa ou mítica, os valores podem estar mais estreitamente relacionados a crenças culturais ou espirituais. Dessa forma, a axiologia de cada zona expressa as normas de validade e aceitação que condicionam a aprendizagem e o ensino de conceitos científicos, demonstrando como diferentes sistemas de valores moldam o engajamento de alunos e professores com o conhecimento científico.

Segundo a ideia de Perfil Conceitual no âmbito do conceito de molécula, Mortimer salientou a inadequação de discutir um conceito fundamental para a Química de maneira independente do contexto. Segundo ele, a dispersão conceitual delineada pelo perfil oferece a vantagem de evidenciar que a forma como se aborda o mundo está intimamente relacionada ao contexto em que se está inserido (Mortimer, 1996).

Mortimer, ao destacar que seu modelo deriva da noção de Perfil Epistemológico, justificou a mudança de nome devido à inclusão de elementos que, de acordo com sua perspectiva, não estariam incluídos na concepção de Bachelard, a exemplo da diferenciação entre as características ontológicas e epistemológicas de cada zona presente no perfil, conforme foi possível observar segundo a descrição que diz:

apesar de lidar com o mesmo conceito, cada zona do perfil poderá ser não só epistemológica como também ontologicamente diferente das outras, já que essas duas características do conceito podem mudar à medida que se mova através do perfil (Mortimer, 2000, p. 78-79).

Ainda há a definição do Perfil Conceitual como “um sistema supra-individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura” (Mortimer, 1996, p. 34), ou seja, não é uma tentativa de classificar e entender as diferentes fases ou estágios que precedem o desenvolvimento da Ciência, mas sim os compromissos epistemológicos e ontológicos dos sujeitos, que são influenciados pelas questões culturais (Santos & Santos, 2023; Silva & Amaral, 2020; Teilor & Zimer, 2023).

Sepulveda, Mortimer e El-Hani (2020) refinam e atualizam a proposta do perfil conceitual abordando os desafios encontrados na aplicação da teoria dos Perfis Conceituais em diferentes contextos educacionais. Essa atualização é compreendida através da discussão sobre a exploração mais flexível das diversas zonas conceituais, considerando as interações dinâmicas entre ciência, cultura e ambiente de aprendizagem. Além disso, é importante ressaltar que essa discussão contemporânea não está presente nos textos analisados. Essa ausência sugere uma lacuna que pode ser explorada em investigações futuras sobre a aplicação da teoria dos Perfis Conceituais.

Tensões e divergências nos perfis: Epistemológico vs. Conceitual

Ao analisarmos as duas noções, pensamos que o primeiro ponto de tensão dos perfis, trazido como um acréscimo explícito de Mortimer (1996) à proposta de Bachelard (1991), foi a questão da ontologia. Se, pela proposta de Mortimer, o Perfil Conceitual se distingue do Epistemológico por conta de tratar de um nível ontológico, um estudo da proposta bachelardiana permite evidenciar uma discussão ontológica já presente no Perfil Epistemológico. Ou seja, mesmo que não seja citado de forma manifesta, as regiões filosóficas bachelardianas são categorizadas com perspectivas epistemológicas e ontológicas. A partir da obra *A Filosofia do Não*, observamos que ela contém elementos que podem ser interpretados ontologicamente (Martins, 2012). Evidenciamos isso, por exemplo, pela própria proposta geral de Bachelard, na qual as rupturas sugerem uma perspectiva ontológica em que a natureza da realidade não é constante, mas sujeita a transformações fundamentais. Essa abordagem implica uma ontologia dinâmica, na qual a compreensão do ser e da realidade está sujeita a mudanças significativas (Corriero, 2020). Além disso, a dialética proposta pelo autor indica uma visão ontológica em que os diferentes, como teorias antigas e novas, estão em constante interação e transformação. Ressaltamos que Bachelard não era um ontologista, mas é possível realizar aproximações sobre como sua filosofia pode ser interpretada à luz da ontologia.

Para embasar nosso entendimento sobre a ontologia, nos apoiamos em Martin Heidegger (2013). Embora Bachelard e Heidegger abordem questões filosóficas distintas em seus trabalhos, suas obras fornecem percepções complementares sobre a natureza do conhecimento e da existência. Enquanto Bachelard se concentra na epistemologia, explorando a construção do conhecimento científico e as rupturas paradigmáticas necessárias para seu avanço, Heidegger adentra na ontologia, investigando a condição humana e nossa relação com o mundo. Apesar das diferenças, ambos os pensadores compartilhavam um profundo interesse na relação entre sujeito e objeto. Bachelard enfatiza a objetividade do conhecimento científico e a importância da prática científica na construção das concepções do mundo, enquanto Heidegger destacava a subjetividade da existência humana e a imersão do ser no mundo. Uma análise comparativa entre suas abordagens pode enriquecer nossa compreensão sobre a natureza do conhecimento e da existência, oferecendo visões complementares sobre questões fundamentais da filosofia (Kafure, 2020).

Segundo Heidegger (2013), a ontologia transcende a mera análise de categorias abstratas ou entidades universais. É uma exploração profunda da experiência humana imersa no mundo. Ele introduz o conceito de "Dasein", que pode ser traduzido como "ser-aí", que visa descrever a forma específica da existência humana. O autor busca a desconstrução de concepções pré-existentes sobre o ser, redirecionando a atenção para a singularidade e concretude da existência humana. No cerne de sua abordagem está a importância da interpretação hermenêutica na compreensão do ser. Heidegger (2013) reconhece que a verdade não é estática, mas sim um processo dinâmico. Assim, a ontologia heideggeriana proporcionava uma visão complexa e profunda do ser, destacando a singularidade da existência humana, a temporalidade, a relevância da linguagem e a necessidade de desconstruir pré-concepções para alcançar uma compreensão autêntica do ser (Maciel *et al.*, 2017).

Neste tensionamento entre a diferenciação de Mortimer em relação ao Perfil Epistemológico e ao Perfil Conceitual, talvez a questão ontológica seja uma das principais. Sobre isso, e assumindo que o foco deste trabalho não é fazer essa distinção, mas sim evidenciar como a nossa área tem utilizado essas propostas, é importante considerar os estudos de Martins (2004/2012), visto que esse autor problematizou e trouxe elementos que ratificam a presença da ontologia nos estudos de Bachelard.

Assumindo a ontologia como o campo da filosofia que considera o ser em si, a natureza da realidade e da existência, Martins (2012) afirma que não existem dúvidas com relação às propostas ontológicas presentes nas diversas zonas Perfil Epistemológico:

se considerarmos a análise bachelardiana para a massa, ficam evidentes as diferenças de natureza ontológica. No realismo ingênuo, a massa (associada às coisas grandes) tem forte identificação com a própria extensão, o que não faz sentido do ponto de vista empirista ou racionalista clássico, por exemplo. Ela é a matéria em si, e não uma propriedade da matéria. Ao analisar a noção racionalista de massa, o próprio Bachelard deixa claro diferenças (a nosso ver, que envolvem aspectos ontológicos) em relação a noções anteriores: “Antes de Newton, estudava-se a massa no seu ser, como quantidade de matéria. Depois de Newton ela é estudada num devir dos fenômenos, como coeficiente de devir” (Martins, 2012, p. 276).

Nesse sentido, havendo uma proposta a partir de Mortimer que problematiza uma não-ontologia bachelardiana e uma possibilidade interpretativa de sentido ontológico em Bachelard, na relação entre tais propostas é evidente o tensionamento que aquela traz sobre esta. Mais do que definir ou atribuir a uma ou outra proposta o título ontologista, entendemos que no escopo deste trabalho seja suficiente, sobre essa questão, apontar sua tensão.

Ainda, dos argumentos trazidos, enfatizamos que a grande divergência que identificamos entre as duas propostas é que o Perfil Conceitual considera questões pedagógicas, enquanto o Perfil Epistemológico é centrado na construção do conhecimento científico.

Na mesma esteira, o estudo de Mortimer propõe a não determinação dos níveis pré-científicos pelas escolas filosóficas de pensamento, mas sim relacionado com os compromissos epistemológicos e ontológicos dos sujeitos, tornando o Perfil Conceitual um sistema supra-individual de formas de pensamento, influenciados pela cultura. Para Bachelard, esses níveis representam estágios iniciais do pensamento, marcados por obstáculos epistemológicos que impedem a transição para uma compreensão científica. Dessas ideias emerge uma segunda tensão. Isso, pois, Martins (2012) discute que a perspectiva de Bachelard também considera em partes esta questão, em que as categorias são independentes do contexto, sendo “uma das características básicas da noção de Perfil Epistemológico” (Martins, 2004, p. 46). Aparentemente, a noção de Perfil Conceitual não está relacionada às escolas filosóficas propostas por Bachelard, considerando que os estágios pré-científicos não seguem necessariamente a sequência de realismo ingênuo, empirismo e os demais. Assim, observamos uma influência cultural significativa na definição das áreas do perfil. Além disso, foi reconhecido que essas áreas podem variar entre diferentes classes sociais. Entretanto, acredita-se que as categorias sejam consistentes dentro da mesma cultura e independentes do contexto (Martins, 2012). Neste sentido, Martins (2004, p.47) destaca:

dada a multiplicidade de obstáculos epistemológicos com os quais os indivíduos deparam-se ao longo do processo de conceitualização, poderíamos até pensar em “subdividir” certas regiões do perfil, admitir uma espécie de “estrutura fina” para as zonas mais elementares. Talvez isso nem seja necessário, mas, mesmo assim, não estaria em desacordo com a visão de Bachelard, que se refere – na Filosofia do Não – à primeira região do perfil tanto com a denominação de animismo como de realismo ingênuo. Entendemos que, para ele, essa região é multifacetada justamente devido ao polimorfismo dos obstáculos.

Porém, pensamos que isso não justifica desvincular os níveis “pré-científicos” de um realismo ou empirismo ingênuos, que tanto na história das ideias como na pesquisa sobre concepções alternativas, as concepções expressas pelos sujeitos estão presentes de forma subjacente.

Da tensão, então, chegamos a pontos de diferença. Ainda naquilo que remete à estruturação das zonas ou níveis de cada proposta, as concepções que envolvem a estrutura do Perfil Conceitual permitem que o pesquisador tenha um certo grau de liberdade no estabelecimento das categorias de análise que são usadas na caracterização das diversas regiões do perfil (Martins, 2012). Essa é uma diferença metodológica que identificamos nas noções dos dois perfis. Para a construção do Perfil Conceitual, as categorias do perfil emergem a partir da análise do *corpus* do material. Assim:

embora a determinação dessas categorias e zonas, para cada conceito, seja cortejada com a literatura relativa às concepções alternativas e com a História da Ciência, ela tem forte relação com o discurso dos sujeitos e com o meio sociocultural, surgindo a partir da análise dos dados de pesquisa, numa perspectiva mais empirista (Martins, 2012, p. 279).

Em contrapartida, nas noções de Perfil Epistemológico as categorias são a priori, segundo a estrutura das zonas filosóficas existentes, ainda que hoje essas categorias possam assumir outras denominações, que consideram os avanços de estudos mais atuais. Podemos assumir que essas zonas são pautadas na própria produção e desenvolvimento da Ciência, como uma possível forma de avaliar o entendimento que um indivíduo manifesta acerca de um conceito.

As divergências teórico-metodológicas existentes dos dois perfis foram destacadas por Martins (2012), bem como as possíveis vantagens e desvantagens da escolha de uma dessas perspectivas. Sendo assim, segundo a noção de Perfil Conceitual, existe a possibilidade da exploração das concepções dos estudantes, relacionada com contextos que consideram alguns compromissos epistemológicos, ontológicos e pedagógicos, o que pode potencializar o uso de concepções alternativas, enquanto as noções de Perfil Epistemológico envolvem um olhar mais racionalista, buscando atribuir significado às concepções na estrutura da produção da Ciência. Assim, embora articuladas, Ciência e seu Ensino compõem elementos distintos de discussão, sendo uma tarefa da epistemologia e outra da didática das Ciências. De maneira análoga ao Perfil Epistemológico de Bachelard, o Perfil Conceitual sugerido por Mortimer evidencia distintas zonas no perfil, em que cada zona possui uma capacidade explicativa superior às zonas precedentes.

Após discorrermos as semelhanças e diferenças que nossa análise encaminha em termos de caracterização das duas propostas, a seguir serão apresentados os trabalhos obtidos num processo de revisão sistemática que utilizam os perfis na sua discussão.

Percurso Metodológico

A investigação traçada sobre os trabalhos que se utilizam das noções de perfis se trata de uma revisão da literatura. Segundo Brizola e Fantin (2016), “a revisão da Literatura, nada mais é do que a reunião, a junção de ideias de diferentes autores sobre determinado tema, conseguidas através de leituras, de pesquisas realizadas pelo pesquisador” (p. 27). Para dar conta dessa tarefa, neste trabalho enfocamos em identificarmos as revistas, autores, anos e definições e modos de

emprego das ideias de Perfil Epistemológico e Perfil Conceitual.

Os repositórios de pesquisa utilizados incluíram o Portal de Periódico CAPES e *Scientific Electronic Library Online* (SciELO). Justificamos a escolha dessas plataformas pelo fato de que ambas desempenham papéis fundamentais na promoção da pesquisa e no compartilhamento do conhecimento científico em nível nacional e internacional. Na condução da pesquisa nessas plataformas digitais, empregamos termos de busca específicos, os quais foram traduzidos para inglês e espanhol, e foram combinados com caracteres booleanos. Desta forma, realizamos a busca utilizando a seguinte combinação: (Perf*) OR (Epistemologi*); (Perf*) OR (Conceitu*) nos três idiomas.

Nas buscas iniciais foram evidenciados 153 textos totais sobre o Perfil Conceitual e 103 totais sobre o Perfil Epistemológico. A seleção inicial dos trabalhos considerou título, resumo e palavras-chave presentes no texto. Para o refinamento desses materiais à composição do *corpus* foi empregado como critério de inclusão a presença de discussões que objetivamente definiam, classificavam, organizavam ou conceituavam os perfis investigados. Nesse sentido, foram excluídos textos que, por exemplo, apenas citavam algum dos perfis, sem o esclarecimento de suas bases teóricas. O resultado desse processo permitiu a composição de um *corpus* com 27 textos referentes ao Perfil Conceitual e 13 ao Perfil Epistemológico. Conforme aponta Booth e colaboradores (2016), é possível que trabalhos de revisão como este não contemplem a totalidade de publicações sobre o tema em foco, isso, pois, há sempre questões de limitação da pesquisa que surge a partir tanto das bases quanto dos termos empregados, uma vez que é possível que algum material no contexto da investigação não tenha sido selecionado ou, ainda, pela perspectiva enfocada na pesquisa, não sejam integrados nos critérios de inclusão estabelecidos.

Os materiais analisados foram contemplados em português, inglês e espanhol, visando ampliar a variedade linguística para uma análise mais abrangente. O recorte estabelecido nas buscas restringiu os materiais de análise a artigos de revistas científicas, desde que fossem revisados por pares, sem determinar um período específico de busca ou uma área de estudo. Isso se deve ao nosso interesse em compreender como essas duas propostas estão sendo discutidas na literatura acadêmica. A seleção dos materiais tornou possível a construção dos Figura 1 e 2.

Figura 1: Textos pertencentes ao *corpus* de análise do Perfil Conceitual.

Código	Texto
T1	Silva, F. C. V. D., & Amaral, E. (2020). Articulando conhecimentos científicos e práticos sobre ácidos/bases: Uma análise de formas de falar e modos de pensar de licenciandos em química e cabeleireiras. <i>Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)</i> , 22, e19348.
T2	Coutinho, F. Â., Martins, R. P., & Vieira, M. C. (2012). Contribuição da filosofia da microbiologia para fundamentar a zona relacional do perfil conceitual de vida. <i>Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)</i> , 14, 51-64.
T3	Santos, J. P. M. dos, & Santos, B. F. dos. (2023). Diretrizes para planejamento do ensino de ciências baseado na teoria dos perfis conceituais. <i>Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)</i> , 25, e40890.
T4	Ribeiro, A. J. (2013). Elaborando um perfil conceitual de equação: desdobramentos para o ensino e a aprendizagem de matemática. <i>Ciência & Educação</i> , 19(1), 55-71.
T5	Pedrerros Martínez, R. I. (2014). Modos de pensar y hablar sobre el equilibrio térmico: significados y contextos de uso en las ciencias de la naturaleza. <i>Tecné, Episteme y Didaxis: TED</i> , (35), 113-132.
T6	Vairo, A. C., & Rezende Filho, L. A. C. (2013). Perfil Conceitual como tema de pesquisa e sua aplicação em conteúdos de biologia. <i>Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)</i> , 15, 193-208.

T7	Nicolli, A. A., & Mortimer, E. F. (2012). Perfil conceitual e a escolarização do conceito de morte no ensino de ciências. <i>Educar em Revista</i> , 19-35.
T8	Karam, R. A. S., Cruz, S. M. S. C. de S., & Coimbra, D. (2006). Tempo relativístico no início do Ensino Médio. <i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i> , 28, 373-386.
T9	Venturi, T. (2015). Discussões epistemológicas: contribuições para a educação em saúde realizada no ensino de ciências. <i>Revista Dynamis</i> , 21(1), 72-84.
T10	Amaral, E. M. R., & Mortimer, E. F. (2001). Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. <i>Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências</i> , 1(3).
T11	Teilor, B. A., & Zimer, T. T. B. (2023). A construção de categorias analíticas na pesquisa sobre perfil conceitual de formação contínua de professores. <i>Revista Espaço Pedagógico</i> , 30, e14321-e14321.
T12	Mortimer, E. F., Scott, P., & El-Hani, C. N. (2011). Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. <i>Tecné, Episteme y Didaxis: TED</i> (30).
T13	De Araújo, A. O., & Fleury Mortimer, E. (2013). Calor: sensação térmica, substância ou energia? O perfil conceitual de calor em um curso de manutenção e instalação de aparelhos de refrigeração. <i>Enseñanza de las ciencias</i> , (Extra), 02579-2583.
T14	Neto, J. E. S., da Silva, C. R., Marques, C. A. L., Rodrigues, R. R. S., Santos, A. P. M., & Almeida, A. P. (2013). Emergência das zonas do perfil conceitual de calor em uma sequência didática. <i>Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas</i> , (Extra), 3348-3353.
T15	Sepulveda, C., Mortimer, E. F., & El-Hani, C. N. (2013). Construção de um perfil conceitual de adaptação: implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução. <i>Investigações em Ensino de Ciências</i> , 18(2), 439-479.
T16	Nicolli, A. A., Mortimer, E. F., & da Silva, I. M. (2012). Ensino de ciências: uma proposta de escolarização do conceito de morte por meio da abordagem do ciclo de vida. <i>Amazonia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas</i> , 8(16), 133-145.
T17	Menezes, V. M. S., Machado, S. M. F., & da Silva, E. L. (2020). Perfil conceitual a respeito da concepção atomística dos estados físicos da matéria de um grupo de alunos da educação de jovens e adultos-EJA. <i>Revista de Ensino de Ciências e Matemática</i> , 11(5), 223-242.
T18	Souza, E. V. (2009). Perfil conceitual complexo: a interação entre perfis conceituais. <i>Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas</i> , (Extra), 3068-3073.
T19	Leitão, U. A., Fernandes, J. A., & Lage, G. (2018). Investigação de perfis conceituais em uma atividade experimental sobre força magnética no Ensino Médio. <i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i> , 35(1), 290-315.
T20	Mortimer, E. F. (1997). Beyond chemical boundaries: A conceptual profile for molecule and molecular structure. <i>Química Nova</i> , 20, 200-207.
T21	Ribeiro Amaral, E. M., & Fleury Mortimer, E. (2004). Un perfil conceptual para entropía y espontaneidad: Una caracterización de las formas de pensar y hablar en el aula de química. <i>Educación Química</i> , 15(3), 218-233.
T22	Mejía, G. A. C. (2017). Concepciones del profesorado de Biología sobre evolución biológica desde el perfil conceptual. <i>Bio-grafía</i> , 10, 771-779.
T23	Simões-Neto, J. E., Lima, C. M., & Amaral, E. M. R. (2015). Una secuencia didáctica para abordar el concepto de calor en la enseñanza de estudiantes preuniversitarios. <i>Formación Universitaria</i> , 8(2), 03-10.
T24	Orduña Picón, R., Sevián, H., & Mortimer, E. F. (2020). Conceptual profile of substance: Representing heterogeneity of thinking in chemistry classrooms.

	<i>Science & Education</i> , 29(5), 1317-1360.
T25	Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? <i>Science & Education</i> , 4, 267-285.
T26	El-Hani, C. N., & Mortimer, E. F. (2007). Multicultural education, pragmatism, and the goals of science teaching. <i>Cultural Studies of Science Education</i> , 2, 657-702.
T27	Mortimer, E. F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: An example from theory of matter. <i>International Journal of Science Education</i> , 20(1), 67-82.

Figura 2: Textos pertencentes ao corpus de análise do Perfil Epistemológico.

Código	Texto
T28	Carvalho Filho, J. E. C. (2006). Educação científica na perspectiva bachelardiana: Ensaio enquanto formação. <i>Revista Ensaio</i> , 8(1).
T29	Lôbo, S. F. (2008). O ensino de química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. <i>Ciência & Educação</i> , 14(1), 89-100.
T30	Silva Júnior, A. G., Tenório, A. C., & Bastos, H. F. B. N. (2007). O perfil epistemológico do conceito de tempo a partir de sua representação social. <i>Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)</i> , 9, 188-204.
T31	Melo, V. F., & Amantes, A. (2022). Validação de teste em três camadas para mapear perfis epistemológicos de densidade. <i>Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)</i> , 24.
T32	Ramos, T. A., & Scarinci, A. L. (2013). Análise de concepções de tempo e espaço entre estudantes do ensino médio, segundo a epistemologia de Gaston Bachelard. <i>Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências</i> , 13(2), 009-025.
T33	De Melo, V. F., Amantes, A., & Vieira, R. D. (2020). Construção de uma taxonomia sobre o entendimento do conceito científico de densidade baseada na noção de Perfil Epistemológico. <i>Ensino, Saúde e Ambiente</i> , 13(1).
T34	Zanetic, J. (2006). Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. <i>História, Ciências, Saúde-Manguinhos</i> , 13, 55-70.
T35	Viau, J. E., González, L. M., Ramírez, A. P., Silva, M. L., & Torres, F. D. (2008). La transferencia epistemológica de un modelo didáctico analógico.
T36	Souza, P. H., Testoni, L. A., & Brockington, G. (2016). O conceito de tempo no ensino de Física: perfis epistemológicos e culturais. <i>Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia</i> , 9(2), 3-33.
T37	Dorigon, L., Silva, M. R., Costa, J. A., Oliveira, F. L., & Pereira, R. T. (2019). Perfil epistemológico para o conceito de transformações apresentado nos livros didáticos de química da 1ª série do ensino médio. <i>Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia</i> , 12(1).
T38	Souza Filho, M. P. de, Boss, S. L. B., & Caluzi, J. J. (2012). Problematização no ensino de tópicos do eletromagnetismo por meio das etapas da psicanálise bachelardiana.
T39	Pinto, A. C., & Zanetic, J. (1999). É possível levar a física quântica para o ensino médio? <i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i> , 16(1), 7-34.
T40	Pazinato, M. S., Bernardi, F. M., Miranda, A. C. G., & Braibante, M. E. F. (2020). Epistemological profile of chemical bonding: Evaluation of knowledge construction in high school. <i>Journal of Chemical Education</i> , 98(2), 307-318.

Os textos selecionados foram analisados a partir dos objetivos de identificar: i) revistas das publicações; ii) anos; iii) palavras-chave mais utilizadas; iv) autores dos textos; v) idiomas; vi) foco no Perfil Epistemológico ou Perfil Conceitual; vii) área; viii) objetivo do estudo. Os critérios de análise dos itens i ao vii representam a busca por dados quantitativos, e o item viii)

informações com base qualitativa.

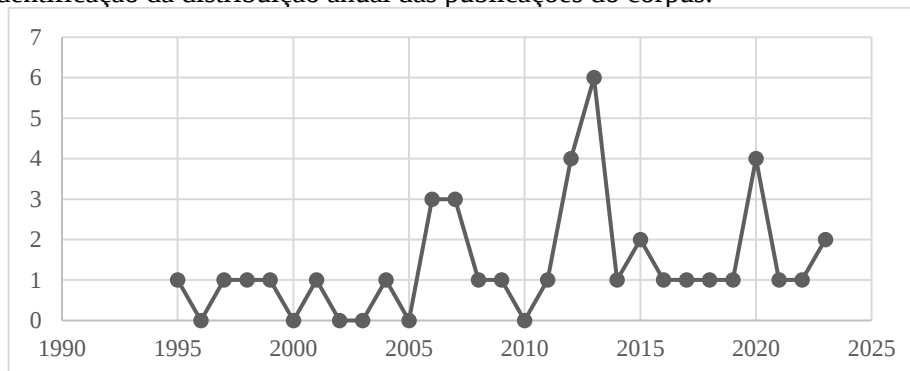
Quantificando a pesquisa: explorando a análise quantitativa dos textos

A primeira informação quantitativa que consideramos relevante para compreendermos o mapeamento da utilização das duas propostas refere-se às revistas onde essas publicações ocorrem, conforme apresentado na Figura 4. Ressaltamos que os periódicos desempenham um papel importante no avanço das discussões acadêmicas, uma vez que são por meio deles que muitos resultados, revisões e análises de pesquisas relevantes são discutidos e compartilhados entre especialistas. Nesse sentido, a publicação representa a conclusão da pesquisa, constituindo a contribuição social do autor e o meio pelo qual os resultados e descobertas do estudo podem ser divulgados (Trzesniak, 2009).

A revista que se destacou com maior número de publicações, com o total de 6 trabalhos, é a *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*. Este é um periódico arbitrado de fluxo contínuo, dedicado à publicação de relatos de pesquisa, revisões críticas de literatura e discussões fundamentais sobre temas relacionados à educação em ciências da natureza. Abrange todos os níveis de ensino e diversos contextos educacionais. Outras seis revistas possuíram a publicação de dois artigos cada: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Ciência & Educação*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, *Science & Education* e *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*. Embora cada uma dessas revistas tenha suas próprias áreas de foco e público-alvo específico, todas compartilham o objetivo comum de promover o avanço do Ensino de Ciências e da educação científica, fornecendo um espaço para o intercâmbio de ideias, pesquisas e práticas inovadoras neste campo em constante evolução.

Quanto ao idioma dos artigos, evidenciamos que 65% apresentaram seu texto em português, 22,5% em espanhol, e 7,5% em inglês. Com base nesses dados, é possível inferir que existe uma predominância de textos que abordam essas temáticas na língua portuguesa. Isso se deve, em grande parte, à significativa presença de autores brasileiros nesse campo ou à origem nacional do proponente do Perfil Conceitual. Também podemos observar com o Gráfico 1 uma concentração dessas publicações entre os anos de 2012 a 2015. Além disso, ressaltamos que a construção do *corpus* para análise desta pesquisa ocorreu em meados de 2023. Sendo assim, é possível que existam mais de dois artigos publicados neste ano que não estejam incluídos nos dados desta investigação.

Figura 3: Identificação da distribuição anual das publicações do corpus.



Fonte: Autores.

Quando analisamos as palavras-chave, em termos quantitativos, identificamos mais de 130 delas, sendo que muitas não se repetem. As 3 palavras mais identificadas foram: *Ensino de Ciências*, *Perfil Conceitual* e *Perfil Epistemológico*. Os editores de revistas científicas costumam requisitar aos autores, durante a submissão de artigos, a inclusão das palavras-chave em seus textos (Gonçalves, 2008). Essas palavras-chave geralmente destacam a amplitude de

um tema e seus conceitos principais. Tal procedimento, no contexto dos artigos científicos, pode ser benéfico para a indexação em mecanismos de pesquisa e a categorização do texto (Ercan & Cicekli, 2007). Neste sentido, a utilização de palavras-chave amplia a acessibilidade ao conteúdo dos documentos, para além das informações expressas no título e resumo. Ela reflete o pensamento dos autores e mantém conexão com a realidade da prática cotidiana, acompanhando o desenvolvimento científico e tecnológico, conforme evidenciado nos documentos (Miguéis et al., 2013). Sendo assim, foi possível observar o uso das noções dos dois perfis fortemente associados ao Ensino de Ciências.

Referente ao aspecto da "autoria", dos 40 artigos, emergiu um total de 71 autores, com a predominância de contribuições provenientes de múltiplos autores. A escrita colaborativa é uma prática amplamente difundida no meio acadêmico, pois a elaboração de artigos frequentemente emerge de grupos de pesquisa, principalmente da parceria entre estudante e orientador. Destacamos que a maioria dos autores, juntamente com seus colaboradores, tiveram apenas uma publicação de artigo, sendo que apenas três autores apareceram em três ou mais artigos distintos, como evidenciado na Figura 4.

Figura 4: Apresentação dos autores que aparecem em artigos distintos.

Nome dos Autores	Artigo	Ano da publicação
Eduardo Fleury Mortimer	T7, T10, T12, T13, T15, T16, T20, T21, T24, T25, T26, T27	2012, 2001, 2011, 2013, 2013, 2012, 1997, 2004, 2020, 1995, 2008, 1998
Edenia Maria Ribeiro Amaral	T1, T10, T21	2020, 2001, 2004
Charbel Nino El-Hani	T12, T15, T26	2011, 2013, 2007

Fonte: Autores.

Conforme evidenciamos na figura anterior, tornou-se notável o destacado papel do autor Mortimer nas publicações analisadas. Acreditamos que esse destaque decorre do fato, discutido anteriormente, de que o autor é o proponente do Perfil Conceitual. Ainda, todos estes textos são sobre essa noção. Além disso, enfatizamos que, dos quarenta textos analisados, vinte e sete abordavam o Perfil Conceitual, enquanto treze discutiam o Perfil Epistemológico. Consideramos provável que a maior recorrência do primeiro esteja associada aos elementos pedagógicos considerados nesta teoria. Com relação à área em que essas discussões foram realizadas, eram relacionados à Educação/Ensino de Ciências.

Qualificando a pesquisa: usos dos estudos com o Perfil Conceitual e o Perfil Epistemológico

Nos últimos anos, conforme pudemos identificar nas Figuras 1 e 2, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas acerca dos modelos do Perfil Conceitual ou Epistemológico. Essas noções vêm sendo trabalhadas alinhadas a questões da Ciência. Abaixo destacamos, em cada seção, os textos identificados com o uso das noções de Perfil Conceitual e Perfil Epistemológico.

Para melhor organização do texto, os subitens a seguir abordarão, inicialmente, um modo descritivo a respeito das pesquisas em relação aos usos dos Perfis Conceitual e Epistemológico. Isso, pois, num sentido integrativo, na seção subsequente será realizada uma discussão crítica dos trabalhos, visando analisar as possíveis interações e contradições presentes no uso de ambos os perfis.

Perfil conceitual

Entre os trabalhos analisados, observamos que o autor com mais produções é Mortimer (conforme é possível visualizar na Figura 4), com o total de doze trabalhos, abrangendo mais de duas décadas de publicações dedicadas ao tema. Neste sentido, destacamos que T25 representou o mais antigo entre os documentos analisados nesta pesquisa, sendo fundamental nas primeiras discussões abordadas por Mortimer ao introduzir a discussão do Perfil Conceitual. Ao longo da leitura, tornou-se evidente a preocupação do autor em destacar e, por vezes, defender sua proposta. Neste sentido, o autor discorre que:

usarei a noção de “perfil conceitual” em vez de “perfil epistemológico” para introduzir algumas características no perfil que diferem a noção filosófica de Bachelard, pois minha intenção é encontrar um modelo para descrever mudanças nos pensamentos individuais como resultado do processo de ensino. O perfil conceitual deve ter algumas semelhanças com o perfil epistemológico, como hierarquias entre as diferentes zonas, por qual cada zona sucessiva é caracterizada por ter categorias com mais poder explicativo do que seus antecedentes (Mortimer, 1995, p. 272).

Neste trecho, evidenciamos que o autor deixou claro que sua proposta de Perfil Conceitual tem uma preocupação direta com as questões que envolvem os processos de ensino e aprendizado.

Em T20, o autor destacou que, como discutido no artigo T25, suas análises partilhavam com o Perfil Epistemológico de Bachelard a concepção de que uma única forma de pensamento é inadequada para abordar um único conceito. No entanto, o autor observou que cada zona de um Perfil Conceitual possui, além de suas características epistemológicas, elementos ontológicos específicos. Ele complementa afirmando que

não estamos procurando uma maneira de entender conceitos primitivos unicamente para ultrapassá-los, como no racionalismo do perfil bachelardiano. Nós estamos mais interessados em descrever o processo de conceptualização numa maneira que seja coerente com a ideia de que diferentes visões de mundo possam ser complementares (Mortimer, 1997, p. 202).

Este texto (T20), sendo um dos primeiros divulgados pelo autor sobre as ideias relacionadas ao Perfil Conceitual, evidenciou ao longo de sua redação os motivos para adaptar a proposta de Bachelard. Além disso, ficou clara a noção de que o Perfil Conceitual é uma contribuição desenvolvida no âmbito do ensino, capaz de auxiliar na compreensão da dinâmica evolutiva dos conceitos químicos. A aplicação dessa concepção no Ensino de Química em todos os níveis pode ser benéfica, segundo o autor, ao proporcionar aos estudantes uma compreensão mais abrangente e facilitar seus contatos com as fronteiras da própria Química.

Seguindo a ordem cronológica das publicações, em T27, de 1998, o autor segue ao longo das discussões realizando uma defesa do Perfil Conceitual. É possível notar características semelhantes nas primeiras publicações sobre essa proposta. Portanto, ao analisarmos esses textos do final do século XX, evidenciamos não apenas uma defesa do Perfil Conceitual, mas também uma busca por uma linguagem e estrutura teórica que melhor se adequem à compreensão das nuances e complexidades envolvidas no desenvolvimento dos conceitos através do ensino.

Nesses trabalhos pioneiros há uma evidente ênfase na escolha da terminologia "Perfil Conceitual" em diferenciação ao "Perfil Epistemológico", revelando a intenção deliberada de introduzir características específicas que distinguem a abordagem proposta da filosofia de Bachelard. Segundo esses estudos, a utilização dessa expressão não é apenas semântica, mas carrega consigo implicações fundamentais para a compreensão da evolução do pensamento conceitual no contexto educacional.

Essa escolha terminológica sugere um esforço consciente em desenvolver um modelo que possa capturar de maneira mais precisa as transformações nos pensamentos individuais decorrentes do processo de ensino. Nesse sentido, o autor buscou não apenas uma diferenciação superficial, mas uma abordagem conceitual mais refinada que permitia uma análise mais profunda e contextualizada das mudanças cognitivas associadas à educação.

Em contrapartida, as últimas publicações do próprio Mortimer assumiram características distintas. O T12, embora não mencione Bachelard, estabeleceu conexões com as discussões relacionadas ao Perfil Conceitual ao alinhar suas ideias com as proposições de Vygotsky. Destacamos a afirmativa de que a construção de um Perfil Conceitual demanda a consideração cuidadosa de uma ampla gama de significados atribuídos a um conceito, abrangendo diversos contextos de produção de significados. Isso incluiu, pelo menos, três dos quatro domínios genéticos explorados por Vygotsky em suas investigações sobre as inter-relações entre pensamento, linguagem e formação de conceitos, a saber, os domínios sócio-cultural, ontogenético e microgenético (Wertsch, 1988). Apesar de não fazer referência direta a Bachelard, o texto enfatizou a importância de integrar diferentes perspectivas e contextos na elaboração de Perfis Conceituais, enriquecendo assim a compreensão sobre a construção de significados em torno de um conceito.

O T13 não abordou diretamente as ideias de Bachelard como contribuições à proposta de Mortimer, entretanto, destacou a importância de compreender a construção dos conceitos. Mortimer (2000) propôs a criação de Perfis Conceituais como uma abordagem para modelar a heterogeneidade do pensamento e da linguagem. Este modelo compartilha fundamentos com as teorias de Vygotsky (1979), considerando o desenvolvimento das funções mentais superiores e a distinção entre sentidos e significados atribuídos pelo indivíduo a uma palavra quando esta era empregada. A interligação dessas teorias em uma síntese coerente estabeleceu um conjunto de pressupostos compartilhados que fundamentavam a abordagem proposta por Mortimer. Essa convergência teórica ofereceu uma compreensão mais abrangente sobre a construção de conceitos, incorporando tanto a dimensão social e discursiva quanto a cognitiva e individual, resultando em uma proposta metodológica mais robusta e holística, explicitada no artigo.

O propósito do T15 apresentou um modelo de Perfil Conceitual de adaptação, que serviu como uma ferramenta que analisava o discurso nas salas de aula de biologia do ensino médio. Ao definir o Perfil Conceitual, que incorpora as mesmas características mencionadas em outros textos do autor, destacou-se a importância de cada indivíduo desenvolver seu próprio Perfil Conceitual. No texto foi reiterado que os Perfis Conceituais eram entendidos como sistemas supra-individuais de formas de pensamento. Além disso, ao relacionar essa ideia com as abordagens de Vygotsky (2001) sobre o desenvolvimento das funções mentais superiores, destacou-se que o pensamento individual era formado por meio da internalização de mediadores simbólicos construídos socioculturalmente, incluindo a linguagem, proporcionados pelas interações sociais. Essa abordagem ressaltou a interconexão entre a construção conceitual individual e os contextos culturais que contribuíram na construção de conhecimento e no desenvolvimento de capacidades cognitivas mais elevadas.

No contexto do T24, embora a exposição tenha sido concisa, sugeriu-se que a compreensão dos conceitos químicos variava substancialmente entre os estudantes, ressaltando a existência de heterogeneidade no pensamento. A proposta central enfatizou a eficácia da criação de Perfis Conceituais como uma ferramenta valiosa para capturar essa diversidade. O cerne da abordagem concentrou-se na consideração de uma ampla gama de significados atribuídos aos conceitos, promovendo uma exploração abrangente de diferentes contextos de produção de significados. Além disso, o texto destacou a influência de teorias, notadamente as de Vygotsky, sublinhando a necessidade de integrar diversas perspectivas e contextos na elaboração desses Perfis Conceituais. Essa integração teórica e contextual visou proporcionar uma compreensão mais holística e refinada da heterogeneidade no pensamento dos estudantes em relação aos conceitos químicos, reforçando a importância da abordagem multifacetada na promoção da aprendizagem mais significativa.

Os textos mencionados representaram produções reelaboradas do professor Eduardo Mortimer, que estabeleceram uma conexão significativa com as teorias de Vygotsky, evidenciando a influência do pensamento vygotskiano na elaboração do Perfil Conceitual. No

T12, a presença dessa influência foi sugestiva na discussão sobre as bases teóricas que fundamentaram a abordagem, enfatizando a importância da dimensão sócio-histórica no desenvolvimento do pensamento humano. Já no T13, a abordagem metodológica refletiu a compreensão vygotskiana do desenvolvimento das funções mentais superiores e a relevância das interações sociais na construção de significados. O T15 destacou que a presença de Vygotsky pôde ser inferida na discussão sobre o desenvolvimento das funções mentais superiores e na importância das interações sociais na formação de conceitos. No T24, a influência vygotskiana foi observada na análise do desenvolvimento das funções mentais superiores e na internalização de mediadores simbólicos construídos socioculturalmente.

Os textos mais recentes de Eduardo Mortimer relacionados ao conceito de Perfil Conceitual claramente refletem uma forte influência das teorias de Vygotsky, evidenciada nas abordagens teóricas e metodológicas adotadas. A referência às funções mentais superiores, à dimensão sociocultural e às interações sociais demonstra uma convergência com o reconhecimento da importância das contribuições de Vygotsky para a compreensão do desenvolvimento cognitivo e a formação de conceitos. Essa convergência evidencia uma relação significativa entre a proposta de Mortimer e as ideias de Vygotsky, destacando a influência do teórico da aprendizagem na construção do conceito de Perfil Conceitual.

Além disso, embora Mortimer também se baseie nas ideias de Mikhail Bakhtin ao desenvolver a noção de Perfil Conceitual, essa influência é menos explorada em seus textos. Mesmo quando Bakhtin é mencionado, a profundidade de sua influência na proposta não é amplamente discutida. Assim, pensamos que, enquanto a influência de Vygotsky é claramente articulada e integrada, as contribuições de Bakhtin são reconhecidas, mas não exploradas em detalhes. A lacuna na exploração da influência de Bakhtin pode indicar uma área potencial para aprofundamento e expansão na compreensão do Perfil Conceitual.

Ainda, dos demais textos dos autores mais presentes nos artigos que discorreram sobre o Perfil Conceitual, apenas um não foi em parceria com Mortimer. No T1, as autoras sugeriram uma abordagem interdisciplinar que integrava a Química com a prática cotidiana relacionada a ácidos e bases. A pesquisa explorou as perspectivas de licenciandos em Química e cabeleireiras em relação a esses conceitos, visando compreender como esses grupos abordavam e conceituavam ácidos e bases. A escolha de comparar licenciandos em Química, com formação acadêmica mais formal, e cabeleireiras, com uma perspectiva mais prática e aplicada, evidenciou divergências e convergências nas concepções sobre esses temas. As autoras enfatizaram que para esta análise realizaram o mapeamento do Perfil Conceitual, identificando padrões de pensamento e expressão em relação a ácidos e bases. Um indivíduo poderia expressar diferentes modos de pensar sobre o conceito de ácido/base, dependendo do contexto em que estivesse inserido, o que indicava que em cada indivíduo poderia existir uma heterogeneidade de pensamento. No entanto, também consideraram as zonas do perfil como supraindividuais e sociais, uma vez que refletiam modos de pensar e de significar a experiência, que foram impostos à cognição individual ao longo de seu processo de formação (Silva & Amaral, 2020, p.5).

Assim, a cognição é constantemente moldada e ajustada por fatores sociais e culturais, resultando em uma compreensão dinâmica e multifacetada dos conceitos químicos. Essa abordagem reconheceu a interconexão entre a formação individual e as influências sociais, destacando a complexidade e a fluidez da compreensão humana em relação aos conceitos científicos, como ácidos e bases.

Os textos T2, T4, T7, T8, T10, T14, T16, T17, T19, T21, T22 e T23 realizaram o mapeamento do Perfil Conceitual dos conceitos, respectivamente, de: ácido e base, equação, morte, tempo, calor, calor, morte, atomística, força magnética, entropia, evolução biológica e calor. O resultado desses estudos indicou que as zonas mobilizadas pelos participantes não revelavam um amplo domínio sobre a compreensão dos conceitos, identificando fragilidades.

Essas lacunas podem ser atribuídas a uma série de fatores, como a falta de familiaridade com os conceitos, ou até mesmo dificuldades inerentes à complexidade dos temas em questão, considerando a ênfase de compreender esses resultados sob o olhar das questões que envolviam os processos de ensino e aprendizagem.

Por outro lado, os textos T3, T5, T6, T9, T11, T18 e T26 direcionaram seu foco para a parte teórica do Perfil Conceitual, visando uma melhor compreensão da proposta. Entre esses trabalhos, os textos T3, T5, T11 e T18 não abordaram diretamente os autores Bachelard e Vygotsky. Em contraste, os textos T6, T9 e T26 mencionaram esses autores, embora sem explorar detalhadamente como suas teorias contribuíram para a proposta do Perfil Conceitual. Essa ausência de uma análise mais aprofundada pode ser considerada uma lacuna significativa, pois uma compreensão mais detalhada das contribuições de Bachelard e Vygotsky poderia enriquecer a interpretação do Perfil Conceitual e forneceria uma base teórica mais sólida para as discussões. Ao concentrarem-se na parte teórica do Perfil Conceitual, esses textos buscaram estabelecer uma conexão direta entre o uso dessas noções e a compreensão da evolução do pensamento conceitual no ensino, tornando claro o objetivo de criar uma base teórica robusta que pudesse ser aplicada na prática educacional para potencializar os processos de ensino e aprendizagem. No entanto, a falta de referência a Bachelard, Vygotsky ou Bakhtin em alguns desses textos demonstrou certa limitação à compreensão de como as ideias desses teóricos podem complementar e enriquecer a proposta do Perfil Conceitual e o próprio entendimento dessas noções.

Perfil Epistemológico

Ao examinar os textos voltados ao emprego da noção de Perfil Epistemológico identificamos padrões e tendências no desenvolvimento do pensamento epistemológico. Essas análises nos permitiram a investigação acerca da compreensão dos conceitos científicos, bem como as influências filosóficas e culturais que moldam suas perspectivas.

Dos treze textos que compõem o corpus de análise acerca do Perfil Epistemológico, com exceção do T34, os demais trouxeram as discussões sobre as definições das doutrinas filosóficas de Bachelard. Ainda, T30, T31, T32, T33, T36, T37, T39 e T40 discutiram acerca do mapeamento do Perfil Epistemológico de conceitos específicos. Em seus resultados é comum a evidência da mobilização das primeiras doutrinas filosóficas para os distintos conceitos investigados.

O objetivo do T28 foi argumentar que o Ensino de Ciências não deve se limitar à simples exposição de conteúdos, visando a acumulação de conhecimento, mas sim à superação dos obstáculos que dificultam a compreensão do pensamento e da prática científica na atualidade. Para alcançar esse objetivo, foram exploradas as discussões entorno do Perfil Epistemológico, destacando sua capacidade de identificação do nível de maturidade de um indivíduo em relação a determinados conceitos científicos. Segundo os autores, isso possibilita ao professor a identificação dos meios necessários para promover um processo de ensino eficaz, adaptado ao nível de compreensão do estudante.

O texto T29 abordou Bachelard, suas contribuições e suas possíveis conexões com o Ensino de Química. Nele, os elementos do autor são relacionados às questões atuais atinentes ao Ensino de Química e à formação do professor, com ênfase em uma formação docente mais autônoma, reflexiva e orientada para a pesquisa. Argumentando que a coexistência de diferentes perspectivas filosóficas para um mesmo conceito científico demonstra o pluralismo filosófico das ideias científicas, conforme descrito por Bachelard por meio da noção de Perfil Epistemológico. Por meio dessa noção, buscou mostrar como cada conceito científico passou por diferentes perspectivas filosóficas até alcançar um estágio de maturação com o racionalismo dialético da Ciência contemporânea.

Em T30, de acordo com os autores, o Perfil Epistemológico foi considerado uma ferramenta para medir a influência psicológica efetiva das diversas filosofias na construção do conhecimento. Destacaram que esse perfil está sempre relacionado a um conceito específico e que é influenciado pela cultura e pela sociedade de cada indivíduo. Além disso, os autores afirmaram que o Perfil Epistemológico deve ser homogêneo para atender às necessidades de formação de um grupo, como no caso dos estudantes de licenciatura entrevistados, sem hierarquia e compartilhando da mesma representação social. Na análise realizada, os autores observaram que a representação social do conceito de tempo (um conceito de interesse específico) estava fortemente associada ao senso comum, sem a apresentação de vestígios de uma abordagem científica sistematizada. Isso indicou que a formação dos futuros professores pode estar comprometida no que diz respeito à compreensão científica desse conceito. Portanto, esses futuros professores podem enfrentar dificuldades ao tentar ensinar esse conceito aos seus estudantes, especialmente quando se trata de adotar uma abordagem científica necessária para a formação dos cidadãos no mundo atual.

No T31, os autores delinearam a proposta de Mortimer na fundamentação teórica, a qual se baseou nas discussões de Bachelard, enfatizando que:

outra perspectiva que objetivou entender a construção de conceitos científicos por parte dos estudantes foi a do perfil conceitual, proposta por Mortimer (1996). Ao propor seu modelo, o autor explica que ele deriva da noção de perfil epistemológico, mas justifica a nova nomenclatura devido à inserção de alguns elementos que, em sua visão, não estariam presentes na noção bachelardiana. O autor afirma que, nessa perspectiva, cada indivíduo apresentaria um perfil distinto para cada conceito; entretanto, as categorias das diferentes zonas do perfil conceitual seriam independentes do contexto, sendo as mesmas consideradas dentro da mesma cultura.

No entanto, não abordaram a existência ou não de diferenças entre as propostas. Além disso, os resultados indicaram que a maioria do perfil dos estudantes da amostra apresentava conhecimento científico relacionado à zona do empirismo. No entanto, ao serem submetidos a itens que envolveram empirismo complexo, a maioria dos estudantes não demonstrou ter o conhecimento necessário para lidar com o conceito, o que se assemelha à dificuldade enfrentada diante de itens da zona do racionalismo tradicional. Isso sugere que os conhecimentos matemáticos e a habilidade de estabelecer relações necessárias aumentam o nível de dificuldade dos itens, elevando-os a um patamar correspondente a outra zona de conhecimento. A diferença é que essa zona é mais complexa, pois abrange e expande os conhecimentos das zonas anteriores, historicamente negligenciadas no processo de escolarização, resultando em um maior nível de dificuldade. Esse resultado destacou a importância da discussão dos instrumentos utilizados para avaliar o conhecimento dos estudantes, especialmente em termos de sua validade para atingir esse objetivo.

O T32 explorou a relação entre as propostas feitas sobre Bachelard, especialmente as questões relacionadas ao Perfil Epistemológico e aos Obstáculos Epistemológicos. As autoras defenderam que, de acordo com Bachelard (1991), a evolução filosófica de um conhecimento científico específico é um processo que perpassa todas essas doutrinas na ordem mencionada. Elas argumentaram que podemos relacionar as noções de Obstáculo Epistemológico e Perfil Epistemológico porque um Perfil Epistemológico reflete os obstáculos que uma cultura teve que superar. Portanto, há uma relação entre o progresso do conhecimento, que depende da superação de obstáculos epistemológicos, e a evolução filosófica do conhecimento, entendida por Bachelard como um processo que atravessa diferentes fases, ou seja, as doutrinas filosóficas. O principal objetivo do estudo foi identificar possíveis obstáculos epistemológicos para a aprendizagem dos conceitos de tempo e espaço por estudantes, além de inferir elementos relacionados à evolução de Perfis Epistemológicos, dentro das categorias usadas por Gaston Bachelard, a partir das características mais marcantes no processo de conceitualização. Como

resultado, observaram uma tendência mais forte em direção ao realismo ingênuo e ao empirismo, embora durante a interação com os grupos e a professora tenham surgido manifestações que poderiam ser relacionadas ao racionalismo tradicional.

O objetivo do T33 tratou da introdução do processo de elaboração e validação de uma taxonomia para o conceito científico de densidade, tendo como base a noção de Perfil Epistemológico. Os resultados desta investigação identificaram a mobilização das zonas do empirismo e do racionalismo tradicional do Perfil Epistemológico. Bachelard, na relação entre empirismo e racionalismo, escreve: “o empirismo precisa ser compreendido; o racionalismo precisa ser aplicado. O valor de uma lei empírica prova-se fazendo dela a base de um raciocínio. Legitima-se um raciocínio fazendo dele a base para uma experiência” (Bachelard, 1991, p.5). Enfatizando a importância de transformar dados empíricos em conhecimento utilizável, indicando que a simples observação de fenômenos não é suficiente; é necessário analisar esses dados empiricamente para construir teorias. Além disso, ele destacava a importância do teste empírico das teorias geradas a partir do raciocínio, sugerindo que as teorias não podem ser aceitas como verdadeiras apenas com base na dedução racional; elas precisam ser submetidas à prova prática para justificar sua validade.

O T34 não teve como objetivo mapear o perfil de um conceito específico, nem descrever as noções propostas pelo autor francês. Em vez disso, percorreu sobre determinadas zonas do Perfil Epistemológico e suas relações com outros autores, como:

no ensaio *Eureka*, seu último livro publicado em vida, escrito em 1847-1848, Poe apresentou um longo estudo sobre o método científico e sobre a teoria gravitacional de Isaac Newton, entre outros temas. Ele considerava esse seu ensaio-poema um texto metafísico e não um texto científico. Esse ensaio apresentava um depoimento sobre as contribuições metodológicas de Kepler, significativo na interpretação livre que faço da conceituação de perfil epistemológico de Bachelard (Zanetic, 2006 p. 60).

Assim, analisou a interpretação livre do conceito de Perfil Epistemológico de Bachelard em relação ao ensaio “*Eureka*” de Edgar Allan Poe, escritor, poeta e ensaísta, identificamos a importância atribuída ao pensamento crítico, à disposição para mudanças e à busca incessante pela verdade como elementos fundamentais para o avanço tanto do conhecimento científico quanto do metafísico.

O objetivo do T35 foi aprofundar o conceito de modelo, visando extrair novas conclusões que permitiram não apenas interpretar suas abrangências, mas também avaliar a transposição resultante de sua aplicação: a transferência epistemológica. Esta investigação propôs que todo modelo didático possuía um Perfil Epistemológico, o qual foi resultado de sua operação sobre sua estrutura conceitual. De acordo com os autores, a mensuração da transferência epistemológica capacitava a avaliação do resultado da aplicação em sala de aula de um modelo didático em relação ao Perfil Epistemológico adquirido pelos estudantes. Portanto, foi sugerido que o design de um modelo didático pode resultar em uma transferência epistemológica como produto de sua didatização.

O artigo T36 realizou uma análise das concepções de tempo de três estudantes matriculados em diferentes níveis de ensino em uma instituição de Ensino Superior. Utilizando a noção de Perfil Epistemológico de Bachelard como referência, o estudo identificou as relações dessas concepções com a cultura de cada estudante. A análise propôs uma conexão produtiva entre esses elementos, permitindo a identificação dos comportamentos individuais que influenciaram a formação dos perfis. A ausência de concepções racionalistas no Perfil Epistemológico, assim como a falta de uma cultura científica no perfil cultural, levanta questões sobre a profundidade e a influência da escola, especialmente do Ensino de Ciências, sobre as visões de mundo dos estudantes.

No T37, foi desenvolvido um modelo de Perfil Epistemológico para o conceito de transformações, utilizando os livros didáticos de química do primeiro ano do ensino médio

aprovados no Programa Nacional de Livros Didáticos - PNLD de 2018 como base. Observamos que a zona do Perfil Epistemológico mais mobilizada neste caso foi a do racionalismo tradicional, em comparação com as demais. Isso pode ser resultado da tentativa de estimular reflexões e desenvolver o espírito científico dos estudantes a partir de suas ideias preexistentes.

O T38 buscou a identificação das zonas mobilizadas para o conceito de eletromagnetismo. Observamos que o Perfil Epistemológico dos estudantes, inicialmente baseado fortemente em visões de senso comum e empirismo, passou a se enquadrar na região do racionalismo tradicional. Essa conclusão foi inferida a partir dos questionários aplicados no final dos módulos, indicando uma aquisição de uma região com maior coerência racional dentro da hierarquia do pensamento. Isso sugeriu um progresso na aprendizagem de conceitos científicos.

Os autores do T39 enfatizaram que o esboço do Perfil Epistemológico desempenha um papel importante não apenas na identificação das diferentes concepções filosóficas, mas também na apresentação aos estudantes de um referencial histórico e filosófico. Esse referencial serviu como suporte para as novas concepções da natureza da luz e ajudou a lidar com o conflito conceitual entre as concepções espontâneas e as diversas interpretações do formalismo presente nas Físicas Clássicas e Moderna. Portanto, os educadores tiveram a oportunidade de contextualizar as teorias científicas no contexto histórico e filosófico em que foram desenvolvidas. Isso permitiu aos estudantes compreenderem não apenas os fundamentos científicos das teorias, mas também as influências culturais, sociais e filosóficas que moldaram essas concepções.

No T40, ao examinarem a evolução dos conceitos de ligação química entre estudantes do ensino médio, os autores notaram que a construção do conhecimento ocorreu ao superar obstáculos epistemológicos associados às zonas filosóficas realista e empirista. Este resultado ressaltou a importância de uma abordagem cuidadosa a essas questões, pois enfatizaram a necessidade de avançar nas zonas filosóficas para um entendimento mais aprofundado. Um exemplo disso foi a observação do uso indiscriminado e irracional de regras como "transferência de elétrons" ou "metal e não metal", indicando uma compreensão superficial que não consideravam os fundamentos conceituais subjacentes. Esses achados destacavam a importância de uma educação que não apenas ensine os conceitos, mas também promova uma compreensão reflexiva e crítica, permitindo que os estudantes superassem obstáculos epistemológicos e desenvolvessem uma compreensão mais sólida e contextualizada dos princípios científicos.

Ruídos nos empregos dos perfis: Abusos e Confusões

A discussão, no presente texto, sobre os ruídos nos empregos dos perfis está associada à evidência de haver, por vezes, um “uso incorreto ou ilegítimo; uso excessivo ou imoderado de poderes” (Aurélio, 2019) das próprias ideias de perfis. Tal definição é justamente aquela que acompanha o lema “abuso” nos dicionários. Igualmente, ao destacarmos que há possíveis “equivocos, enganos” (Aurélio, 2019) no que tange a esses usos, também se tem a aproximação do termo “confusões”. Nesse sentido, assumindo o emprego dos perfis pela comunidade da Educação em Ciências, tais elementos contribuem com os ruídos que aqui identificamos, o que ressalta a importância de explicitação das bases teóricas que fundamentam os estudos desenvolvidos, pois essas propostas são utilizadas no campo da Educação em Ciências sem uma clareza adequada sobre suas características e limites, por vezes sendo operadas quase que de modo sinónimo.

Em diversos textos analisados observamos o uso do Perfil Epistemológico em um sentido didático, o que pode desviar-se de sua finalidade original. Por exemplo, em T28, o Perfil Epistemológico foi relacionado aos processos de ensino; em T31, era utilizado de forma

intrínseca para avaliar o conhecimento dos estudantes; em T35, associaram ao processo de transposição didática; e, principalmente em T36, realizaram uma relação com as questões culturais de cada estudante, visto que essa discussão se trata de um dos pilares das noções que envolvem o Perfil Conceitual.

Com isso, ressaltamos a importância da clareza para o autor que vai utilizar esta proposta. O Perfil Epistemológico pode ser compreendido e aplicado dentro de seu escopo epistemológico, como sugere sua própria denominação. As noções que embasam as ideias do perfil são de natureza epistemológica, ou seja, referem-se ao modo como determinado conhecimento é produzido e validado, o que é fundamental para a produção científica. Nos exemplos explorados, notamos que, em algumas ocasiões, o Perfil Epistemológico é usado quase em um sentido didático, extrapolando os limites da epistemologia. Essa abordagem pode criar confusões e desviar do objetivo principal de entender e analisar a natureza e a produção do conhecimento, seja ele o científico ou o didatizado ao contexto do ensino.

No contexto das pesquisas que têm por mote o Perfil Conceitual, não foram observadas limitações que fragilizassem o encaminhamento das discussões a partir de suas propostas-base. Isso, provavelmente, se dê em função de que todos os estudos analisados estão no campo da Educação e do Ensino de Ciências, ou seja, partem já do foco didático como premissa para sua discussão, não havendo, então, de modo geral, as inconsistências similares observadas na proposta epistemológica - o que não afasta as possíveis confusões entre ambos os termos e/ou as possibilidades de releitura que necessitam ser explicitadas.

Da análise dos textos, sugere-se que, em algumas aplicações, dependendo dos objetivos, poderia ser mais eficaz utilizar o Perfil Conceitual do que o Perfil Epistemológico. O Perfil Conceitual, ao focar nas representações mentais e nos processos de construção do conhecimento dos indivíduos, pode oferecer uma perspectiva mais adequada para analisar aspectos didáticos e culturais do ensino e da aprendizagem. Portanto, ao considerar o objetivo específico de cada estudo ou aplicação, é importante escolher e justificar, de modo mais explícito, as bases teóricas do Perfil Epistemológico e/ou o Perfil Conceitual para garantir uma abordagem mais precisa e relevante.

Considerações finais

Diante do estudo de revisão das proposições teóricas do Perfil Conceitual, do Perfil Epistemológico e dos trabalhos que as mobilizam, ficou evidente a compreensão das suas semelhanças e divergências. Ambas as propostas revelaram potencialidades significativas, contudo, para explorá-las da melhor forma possível, destacamos ser importante que os pesquisadores, ao optarem pelo uso do Perfil Epistemológico ou Perfil Conceitual, identifiquem suas diferenças e façam uma escolha informada e justificada.

Quanto ao Perfil Conceitual, observamos a evolução das discussões sobre a proposta ao longo do tempo, especialmente a influência das teorias de Vygotsky nas últimas obras de Mortimer. Essa convergência teórica indica uma relação significativa entre as abordagens desses autores, enriquecendo a compreensão do desenvolvimento cognitivo e da formação de conceitos no contexto educacional. Além disso, a necessidade de uma abordagem interdisciplinar e holística dos conceitos químicos, integrando diferentes perspectivas teóricas e contextos culturais, emerge como um ponto importante para uma compreensão mais abrangente e refinada da construção de significados em torno dos conceitos. Essas considerações ressaltam a importância de uma análise aprofundada e multifacetada dos processos de ensino e aprendizagem.

Ao revisar os textos que exploraram o conceito de Perfil Epistemológico ficou evidente a presença de "ruídos" em sua aplicação, notadamente quando extrapolam seus limites

epistemológicos para uma abordagem mais didática. Embora o Perfil Epistemológico seja concebido para mapear a evolução do pensamento científico e compreender as influências filosóficas sobre os conceitos, sua utilização em alguns textos tendeu a focar excessivamente em aspectos pedagógicos, desviando de sua finalidade inicial. Essa distorção indica a necessidade de uma compreensão clara e precisa, bem como a consideração cuidadosa de sua aplicação para evitar confusões, interpretações equivocadas e garantir uma análise mais adequada.

No contexto dos textos utilizados nesta pesquisa, observamos que 40% deles mencionavam a existência de ambas as propostas. No entanto, nenhum desses textos discorria sobre as diferenças de forma a destacar que ambas são, de fato, propostas distintas, cada uma com sua finalidade específica.

Com esse estudo, pudemos destacar que a escolha entre o Perfil Epistemológico e o Perfil Conceitual deve ser feita com base em uma análise criteriosa das necessidades e objetivos específicos do contexto educacional ou de pesquisa em questão. Atentar para os modos de uso dos fundamentos teóricos da pesquisa viabiliza o melhor atendimento das intenções da investigação e afasta possíveis abusos ou confusões entre objetivos, fundamentação, análises e resultados.

Referências

- Aurélio, E. Dicionário eletrônico da língua portuguesa. 5. ed. Curitiba: Positivo, 2019
- Bachelard, G. (1977). O racionalismo aplicado. Rio de Janeiro: Zahar.
- Bachelard, G. (1991). *A filosofia do não: Filosofia do novo espírito científico* (J. J. Moura Ramos, Trans., 5ª ed.). Lisboa: Editorial Presença.
- Becker, F., & Marques, T. B. I. (2010). *Ser professor é ser pesquisador*. Mediação.
- Booth, A., Sutton, A., & Papaioannou, D. (2016). *Systematic Approaches to a Successful Literature Review*. SAGE Publications.
- Brizola, J., & Fantin, N. (2016). Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. *Revista de Educação do Vale do Arinos-RELVA*, 3(2).
- Cavalcanti, A. D. S., Silva, M. D. F. V. D., & Macêdo, F. C. D. S. (2013). Bases epistemológicas em educação em ciências: imagens da ciência e o processo de ensino-aprendizagem. In *CONFERENCIA DE LA ASOCIACIÓN LATINO AMERICANA DE INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN EN CIENCIAS, LASERA. Anais, Manaus*.
- Corriero, E. C. (2020). *Libertà e conflitto: Da Heidegger a Schelling, per un'ontologia dinamica* (con un saggio di M. Frank). Rosenberg & Sellier.
- De Souza, N. A. (2006). *Do conhecimento literário: Ensaio de epistemologia interna dos estudos literários (crítica e poética)*.
- Ercan, G., & Cicekli, I. (2007). Using lexical chains for keyword extraction. *Information Processing and Management*, 43, 1705-1714.
- Galindo, A. G. G. (2021). Linhas epistemológicas contemporâneas e a questão epistemológica. *Revista Portuguesa Interdisciplinar*, 2(01), 63-96.
- Gonçalves, A. L. (2008). Uso de resumos e palavras-chave em Ciências Sociais: uma avaliação. *Encontros Bibli*, 13(26).
- Guimarães, H. G. (2024). *A digressão acerca do conhecimento na Carta Sétima platônica e sua relação com Os Diálogos*.
- Heidegger, M. (2013). *Ontologia. Hermenêutica da facticidade* (R. Kirchner, Trans.). Petrópolis: Vozes.
- Howard, B. C., McGee, S., Schwartz, N., & Purcell, S. (2000). The experience of constructivism: Transforming teacher epistemology. *Journal of Research on Computing in*

Education, 32(4), 455-465.

Kafure da Rocha, G. (2020). Uma topo-ontologia de Heidegger e Bachelard. *Ideas y Valores*, 69(172), 33-56.

Lôbo, S. F. (2008). O ensino de química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. *Ciência & Educação*, 14(1), 89-100.

Maciel, C. A., Silva, R. B., Almeida, J. F., & Costa, L. P. (2017). A ontologia e hermenêutica em Heidegger. *Anais Seminário de Filosofia e Sociedade*, 1(1).

Martins, A. F. P. (2004). *Concepções de estudantes acerca do conceito de tempo: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard* (Tese de doutorado, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo).

Martins, A. F. P. (2012). *Sobre obstáculos e perfis: perspectivas para o ensino de ciências a partir da epistemologia de Gaston Bachelard*. Natal: EDUFRRN.

Melo, V. F., & Amantes, A. (2022). Validação de teste em três camadas para mapear perfis epistemológicos de densidade. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 24.

Miguéis, A., Silva, P. R., Almeida, T. M., Costa, L. B., & Santos, M. C. (2013). A importância das palavras-chave dos artigos científicos da área das Ciências Farmacêuticas, depositados no Estudo Geral: estudo comparativo com os termos atribuídos na MEDLINE. In *4ª Conferência Luso-Brasileira sobre Acesso Aberto*. Mortimer, E. F. (1996). Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, 1, 20-39.

Mortimer, E. F. (1997). Beyond chemical boundaries: A conceptual profile for molecule and molecular structure. *Química Nova*, 20, 200-207.

Mortimer, E. F. (2000). *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências* (1ª ed.). Belo Horizonte: Editora UFMG.

Mortimer, E., & El-Hani, C. N. (2014). **Conceptual Profiles**: a theory of teaching and learning scientific concepts. Dordrecht, Netherlands: Springer.

Santos, J. P. M. dos, & Santos, B. F. dos. (2023). Diretrizes para planejamento do ensino de ciências baseado na teoria dos perfis conceituais. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 25, e40890.

SEPULVEDA, C.; MORTIMER, E. F., & EL-HANI, C. N. Analyzing discursive interactions in the context of evolution teaching with a conceptual profile of adaptation. In: Science education research in Latin America. Brill, 2020. p. 277-306.

Silva, F. C. V. da, & Amaral, E. (2020). Articulando conhecimentos científicos e práticos sobre ácidos/bases: uma análise de formas de falar e modos de pensar de licenciandos em química e cabeleireiras. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 22, e19348.

Trzesniak, P. (2009). A estrutura editorial de um periódico científico. In A. A. Z. P. Sabadini, M. I. C. Sampaio, & S. H. Koller (Orgs.), *Publicar em psicologia: um enfoque para a revista científica* (pp. 87-102). São Paulo: Associação Brasileira de Editores Científicos de Psicologia; Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo.

Veronez Júnior., & Roberto, W. (2021). *Epistemologia social e organização do conhecimento: Contribuições às abordagens culturais*.

Vygotsky, L. S. (1979). Consciousness as a problem in the psychology of behavior. *Soviet Psychology*, 17(4), 3-35.

Vygotsky, L. S. (2001). *A Formação Social da Mente: O Desenvolvimento dos Processos Psicológicos Superiores* (3ª ed.). Martins Fontes.

Wertsch, J. V. (1988). *Vygotsky and the social formation of mind*. Harvard university press.

Zanetic, J. (2006). Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 13, 55-70.

3.2 Artigo 2

Um percurso epistemológico: a possível origem das Interações Intermoleculares

Prelúdio ao artigo 3.2: Um percurso epistemológico: a possível origem das Interações Intermoleculares

Em uma perspectiva epistemológica, essa etapa da pesquisa propõe-se a investigar as principais contribuições para a formação do conceito de Interações Intermoleculares, considerando as influências históricas e epistemológicas. Assim, este artigo visa traçar um percurso que vá além da análise dos conteúdos didáticos, refletindo sobre os fundamentos epistemológicos que sustentam a construção do conceito de Interações Intermoleculares, elucidando as origens e as transformações desse conhecimento ao longo do tempo.

Introdução

As Interações Intermoleculares podem ser identificadas como um dos pilares da Química, pois fundamenta a compreensão da natureza da matéria, em conjunto com a estrutura atômica e as ligações químicas, dentre outros conceitos que podem ser assumidos como pilar para essa Ciência (Miranda, Braibante e Pazinato, 2018). Ainda, destacamos que a escolha de investigar o conceito de Interações Intermoleculares se legitima, uma vez que se compreende a importância desse conceito para a Química nas suas diferentes áreas: Química Geral, Química Inorgânica, Química Orgânica, Química Analítica, Físico-Química, Bioquímica, Materiais e outras em vários aspectos (Rocha, 2001). Dada sua amplitude de inserção nas discussões em Química, assumimos as Interações Intermoleculares como um conceito fundamental a essa Ciência.

Destacamos que para essa pesquisa consideramos os pressupostos bachelardianos. Ou seja, buscaremos expor nossa proposta de percurso epistemológico a partir da perspectiva das ideias e não dos fatos. Para tanto, olharemos para o passado considerando os conhecimentos do presente. Para Bachelard (1996, p. 21-22):

A história, por princípio, é hostil a todo juízo normativo. É, no entanto, necessário colocar-se num ponto de vista normativo, se houver a intenção de julgar a eficácia de um pensamento. Muito do que se encontra na história do pensamento científico está longe de servir, de fato, à evolução desse pensamento. Certos conhecimentos, embora corretos, interrompem cedo demais pesquisas úteis. O trabalho epistemológico deve, portanto, fazer uma escolha nos documentos coligidos pelo historiador. Deve julgá-los da perspectiva da razão e até da perspectiva da razão evoluída, porque é só com as luzes atuais que podemos julgar com plenitude os erros do passado espiritual. [...]. Portanto, é o esforço de racionalidade e de construção que deve reter a atenção do epistemólogo. Percebe-se assim a diferença entre o ofício de epistemólogo e o de historiador da ciência. O historiador da ciência deve tomar as ideias como se fossem fatos. O trabalho epistemológico deve tomar os fatos como se fossem ideias, inserindo-as num sistema de pensamento. Um fato mal interpretado por uma época permanece, para o historiador, um fato. Para o trabalho epistemológico é um obstáculo, um contrapensamento.

Portanto, buscaremos enfatizar o papel do olhar epistemológico na seleção e interpretação dos documentos históricos. Essa abordagem ressalta a importância de não apenas compreender a história do pensamento científico considerando seu contexto histórico, mas também de avaliá-la criticamente. Ao fazê-lo, podemos não

apenas compreender melhor o desenvolvimento do conhecimento científico, mas também identificar e superar os obstáculos que podem ter (re)tardado seu avanço no passado. Neste sentido, não consideraremos uma história linear, e sim, as principais ideias que contribuíram para o estágio atual do conceito de Interação Intermolecular.

Diante do exposto, nosso objetivo central é investigar a construção epistemológica atravessada por aspectos históricos do conceito de Interações Intermoleculares, inspirados na epistemologia de Gaston Bachelard. Ressaltamos que não buscamos apresentar especificamente um conceito formalizado pelo epistemólogo, mas utilizar suas concepções como guia para as reflexões e discussões propostas. A análise visa compreender a construção desse conceito, explorando as contribuições de cientistas, especialmente de Willem Hendrik Keesom, Peter Joseph Wilhelm Debye e Fritz Wolfgang London e outros que assumimos como contribuições que colaboraram para o conceito em destaque.

Metodologia

Esta investigação consistiu em uma abordagem qualitativa, que segundo Rosa (2013, p. 41):

[...] a Pesquisa Qualitativa é uma pesquisa que não tem por objetivo imediato a generalização dos resultados obtidos. Nesse tipo de pesquisa, estamos interessados em levantar quais são as possíveis causas do evento observado pelo pesquisador, quais são as relações que determinam o comportamento de um determinado grupo ou sujeito. Ela tem um caráter exploratório, no sentido de que fazemos um mapeamento do terreno estudado, visando a sua descrição detalhada.

Alinhado a isso, optamos pela análise documental, que consiste em uma investigação de arquivos, ou seja, uma pesquisa que “[...] tem como principal característica o fato de que a fonte dos dados, o campo onde se procederá a coleta dos dados, é um documento (histórico, institucional, associativo, oficial, etc.)” (Tozoni-Reis, 2009, p. 30). Sendo assim, a análise documental ressalta a importância da interpretação contextual dos documentos, além de considerar as relações entre os documentos e o contexto em que foram produzidos.

A escolha dos documentos foi realizada por meio de uma busca por materiais históricos, com um enfoque especial em publicações originais dos pesquisadores que contribuíram na construção do conceito de Interações Intermoleculares. Esse

processo envolveu a identificação e seleção de fontes primárias, tais como artigos científicos, teses e livros, que contêm as contribuições originais e as descobertas pioneiras desses estudiosos. A prioridade foi dada a esses documentos originais porque eles fornecem uma visão autêntica e detalhada dos desenvolvimentos teóricos e experimentais que moldaram a compreensão atual das Interações Intermoleculares.

Trilhando caminhos científicos: a gênese das Interações Intermoleculares

Iniciamos este estudo por uma análise das proposições advindas de Robert Boyle, em meados do século XVII, cuja relevância para as Interações Intermoleculares se destaca, uma vez que proporcionam uma compreensão importante do comportamento dos gases e das Interações Intermoleculares que os regem (Zaterka, 2012). Para realizar seus experimentos com gases, Boyle utilizou um tubo longo de vidro em forma de J, com o lado menor lacrado. Ele então verteu mercúrio no tubo, prendendo o ar no lado menor do J. Quanto mais mercúrio ele adicionava, mais o gás era comprimido. Boyle então concluiu que o volume de uma quantidade fixa de gás diminui quando a pressão sobre ele aumenta. Boyle encontrou que os dados dele eram uma linha reta quando os representou como V versus 1/P (Rinaldi, 2010). Assim, a Lei de Boyle, que descreve a relação entre a pressão e o volume de um gás mantendo a temperatura constante, é expressa matematicamente pela equação:

$$P \cdot V = k \quad (\text{Equação 1})$$

Na perspectiva das zonas filosóficas de Bachelard, o trabalho de Boyle se enquadra no empirismo, onde a observação direta dos fenômenos às primeiras inferências sobre o comportamento dos gases. A transição para o empirismo, no entanto, ocorre quando essas observações são sistematizadas em leis quantitativas, como a Lei de Boyle, conectando mudanças de pressão e volume molecular.

A partir das contribuições de Boyle, compreendemos que as Interações Intermoleculares podem ser relacionadas às mudanças de pressão e volume, implicando em um comportamento molecular que se torna evidente através das Interações Intermoleculares atuantes. Esse é um ponto de conexão importante para a gênese das Interações Intermoleculares, pois permite identificar os aspectos iniciais do comportamento molecular em nível macroscópico.

Além disso, a Lei de Charles, formulada por Jacques Charles em 1787, estabelece que, sob pressão constante, o volume de um gás é diretamente proporcional à sua temperatura em Kelvin. A formulação matemática desta lei, posteriormente desenvolvida por Gay-Lussac em 1808, é conhecida como Lei de Charles e Gay-Lussac (Ferreira, 2012). Ao relacionar temperatura e volume, essa lei reflete o racionalismo clássico, pois consolida o uso de modelos matemáticos para descrever relações entre variáveis físicas, promovendo uma compreensão sistemática e teórica do comportamento dos gases.

As descobertas de Benjamin Franklin no campo da eletricidade, embora distantes em aplicação direta, fornecem uma base para compreender as forças fundamentais que atuam entre moléculas. Franklin propôs uma teoria inicial sobre cargas elétricas, que mais tarde seria quantificada pela Lei de Coulomb, desenvolvida em 1785. Esta lei, que descreve a força eletrostática entre duas cargas elétricas, é expressa pela equação:

$$|F| = k_e \left| \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \right|$$

(Equação 2)

Essa formulação quantitativa é essencial para entender interações como as forças dipolo-dipolo e dipolo-induzido, fundamentais para moléculas polares. Aqui, avançamos para o racionalismo completo, no qual há uma integração entre experimentação rigorosa e modelagem teórica, permitindo uma visão mais abrangente e detalhada das forças que governam as Interações Intermoleculares.

Por fim, as contribuições de Amedeo Avogadro em 1811 contribuem com a base para a gênese das Interações Intermoleculares ao estabelecer que volumes iguais de gases, nas mesmas condições de temperatura e pressão, contêm o mesmo número de moléculas (Avogadro, 1811). Assim, com relação à Lei de Avogadro, suas ideias colaboram com um entendimento integrado sobre o comportamento dos gases e sua relação com as Interações Intermoleculares. Essa lei destaca que volumes iguais de gases, nas mesmas condições de temperatura e pressão, contêm o mesmo número de moléculas, oferecendo uma base quantitativa para a compreensão molecular. Assim, ela complementa a estrutura teórica para a gênese das Interações Intermoleculares ao articular aspectos fundamentais sobre a distribuição molecular e suas implicações nos sistemas gasosos.

A compreensão do comportamento dos gases, governado pelas Interações Intermoleculares, está intimamente ligada ao número de partículas (moléculas) presentes em um sistema gasoso. Esse entendimento evolui com o tempo, refletindo as mudanças do conceito das Interações Intermoleculares. Inicialmente, sob uma perspectiva mais simples e intuitiva (zona do realismo ingênuo), acredita-se que as interações entre as moléculas eram determinantes simples para o comportamento dos gases. Nesse momento, o conhecimento sobre as Interações Intermoleculares era moldado por uma visão direta, na qual o comportamento molecular parecia ser uma extensão do que é observável no mundo macroscópico, sem uma exploração profunda das camadas mais complexas dessas interações.

Em 1857, Rudolf Clausius formulou a Segunda Lei da Termodinâmica, que descreve a irreversibilidade dos processos naturais. Essa lei introduziu o conceito de entropia, relacionado ao grau de desordem em um sistema, contribuindo para um avanço nas discussões sobre as Interações Intermoleculares. A entropia e sua relação com as interações moleculares podem ser compreendidas como uma transição do conhecimento intuitivo para uma explicação mais fundamentada (aproximando-se da zona do empirismo), onde o conhecimento começa a se apoiar mais em observações sistemáticas e experimentos, e não apenas na percepção imediata dos fenômenos. A introdução da entropia é, de certa forma, uma aproximação da complexidade das interações, onde o conhecimento começa a ser moldado por uma análise mais sistemática dos processos físicos (Clausius, 1898).

A seguir, Boltzmann, no final do século XIX, fez contribuições significativas com suas ideias sobre a mecânica estatística e a termodinâmica estatística. Ele relacionou as grandezas macroscópicas, como pressão e temperatura, com as propriedades microscópicas das moléculas. Esse movimento em direção a uma abordagem mais teórica e baseada em modelos probabilísticos (zona do racionalismo completo) reflete um avanço significativo no entendimento das Interações Intermoleculares. A termodinâmica estatística, ao lidar com probabilidades e distribuições, não apenas revela o comportamento médio das partículas, mas também mostra como as interações entre elas influenciam as propriedades macroscópicas do sistema. Esse desenvolvimento, estruturado em uma base teórica sólida, vai além do empirismo e do racionalismo clássico, mostrando como os modelos e a matemática podem explicar de forma mais abrangente as interações intermoleculares.

Em 1860, Maxwell formulou a distribuição estatística das velocidades das moléculas em um gás ideal, conhecida como a *Distribuição de Maxwell*. Sua formulação, complementada por Boltzmann, representa um avanço na compreensão das Interações Intermoleculares, ao fazer a conexão entre a energia cinética média das moléculas e as propriedades macroscópicas observadas, como temperatura e pressão.

Após a morte de Boltzmann em 1906, as contribuições de ambos foram mais amplamente reconhecidas, e a distribuição estatística das velocidades moleculares passou a ser frequentemente chamada de Distribuição de Maxwell-Boltzmann (Figura 1), reconhecendo a contribuição de ambos os cientistas.

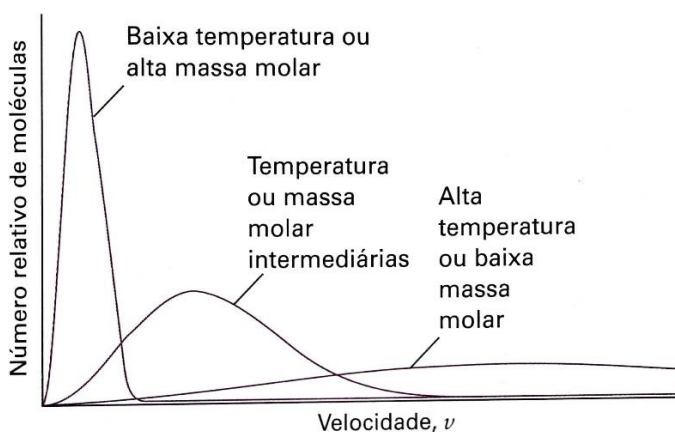


Figura 1: A distribuição de Maxwell-Boltzmann de velocidades moleculares em função da temperatura e da massa molar.

Fonte: Atkins e De Paula (2018, p.17).

A Distribuição de Maxwell-Boltzmann cria a probabilidade de encontrar uma molécula com uma determinada energia cinética em um gás ideal à uma determinada temperatura. A temperatura está diretamente relacionada à energia cinética média das moléculas. A relação entre as Interações Intermoleculares e os gases, bem como a forma como elas influenciam a distribuição da energia cinética, se torna evidente à medida que se avança nas teorias cinéticas e estatísticas. Inicialmente, as Interações Intermoleculares eram vistas de forma simplificada, mas com o tempo e o desenvolvimento de modelos como o de Maxwell-Boltzmann, foi possível estabelecer uma conexão clara entre essas interações e as propriedades macroscópicas observáveis, como temperatura e pressão.

As Interações Intermoleculares são responsáveis pela troca de energia entre as moléculas, o que impacta diretamente a forma como a energia cinética se distribui no sistema. À medida que as moléculas interagem entre si, essas forças de atração e repulsão alteram a distribuição de energia cinética das partículas, o que se reflete na forma da distribuição de Maxwell-Boltzmann e na temperatura do sistema. Esse entendimento, que se baseia tanto em evidências experimentais quanto em modelos teóricos, é um reflexo do constante avanço da compreensão das Interações Intermoleculares e de como elas influenciam o comportamento macroscópico dos gases. Ou seja, alterações nas Interações Intermoleculares, como mudanças na força de atração ou repulsão entre as moléculas, podem levar a variações na forma e nos parâmetros da Distribuição de Maxwell-Boltzmann. Isso reflete diretamente as mudanças nas propriedades térmicas do sistema.

Edward Frankland foi um químico britânico que fez várias contribuições para a Química, incluindo suas pesquisas sobre valência e teoria da valência. Em 1852 publicou um artigo sobre a teoria da valência denominado “On the Connexion of the Chemical Theory of the Constitution of Bodies with the Physical Theory of Definite Proportions” (Sobre a Conexão da Teoria Química da Constituição dos Corpos com a Teoria Física das Proporções Definidas), cujas contribuições estiveram relacionadas ao entendimento das relações entre os átomos em moléculas.

A teoria de Frankland estabeleceu uma base conceitual importante para a compreensão de como as forças químicas atuam nas interações atômicas, e foi um marco no entendimento da estrutura molecular. Ele acreditava que as moléculas eram formadas a partir da combinação de átomos em proporções definidas, o que se conecta com a teoria das proporções definidas de Joseph Proust, que afirmava que os compostos químicos são sempre formados por átomos em proporções fixas e definidas. A teoria de Frankland ajudou a explicar como as diferentes proporções de átomos em uma molécula se relacionam com a formação dessas ligações químicas. Essa concepção permitiu uma melhor compreensão das forças internas que mantêm os átomos unidos em uma molécula e forneceu informações importantes para entender como essas forças moleculares também influenciam as interações entre moléculas distintas, ou seja, as Interações Intermoleculares.

Essa abordagem reflete o racionalismo clássico descrito por Bachelard, onde o conhecimento científico se desenvolve a partir de ideias claras, ordenadas e

sistemáticas, fundamentadas em princípios bem definidos. O modelo de valência de Frankland, ao propor uma estrutura lógica para descrever as interações atômicas, também abriu caminho para investigações sobre as forças intermoleculares, como as interações de van der Waals e as ligações de hidrogênio. Esses avanços foram fundamentais para compreender como as moléculas interagem em diferentes estados da matéria, influenciando propriedades macroscópicas, como a solubilidade e os pontos de ebulição.

Além disso, Frankland compartilhou ideias semelhantes às de Alexander Butlerov, embora ambos tenham desenvolvido suas teorias de maneira independente. Butlerov também contribuiu para a teoria da valência, destacando a importância das ligações entre átomos e como elas determinam a estrutura e as propriedades das moléculas. As ideias de Butlerov sobre a organização das ligações químicas reforçaram a noção de que a estabilidade das moléculas é intrinsecamente relacionada à forma como elas interagem umas com as outras, formando redes de forças intermoleculares que governam comportamentos macroscópicos observados nos materiais. As contribuições de ambos foram essenciais para o desenvolvimento do entendimento moderno sobre as ligações químicas e a estrutura molecular (Nogueira, 2018).

Portanto, a teoria de Frankland forneceu a base para compreender as interações atômicas dentro das moléculas, explicando a maneira como os átomos se unem para formar estruturas estáveis, dando um suporte fundamental para o avanço da Química, especialmente nas áreas de química orgânica e estrutural (Neto, 2007). Além disso, sua teoria não apenas explicou a formação de moléculas estáveis, mas também lançou as bases para o entendimento de como essas moléculas interagem entre si, influenciando diretamente o estudo das Interações Intermoleculares.

Dando continuidade à ênfase nas ideias que consideramos fundamentais para a construção deste percurso epistemológico Johannes Diderik van der Waals é um cientista de extrema relevância no estudo das Interações Intermoleculares. Este físico e químico neerlandês, a partir de 1873, conduziu uma série de estudos cujas contribuições para o entendimento das interações foram verdadeiramente revolucionárias. Ele propôs uma equação de estado modificada para gases reais, que considera o tamanho das moléculas e as forças de atração entre elas. Essa equação, conhecida como equação de van der Waals, é essencial para explicar desvios do

comportamento ideal dos gases, proporcionando uma descrição mais precisa das Interações Intermoleculares (Fleming, 2003).

$$\left(P + \frac{a}{V_e^2} \right) \cdot (V_e - b) = R \cdot T$$

(Equação 3)

Além disso, ele desenvolveu uma teoria para explicar o comportamento de líquidos reais, levando em conta as Interações Intermoleculares. Essa teoria proporcionou uma compreensão mais profunda das propriedades dos líquidos, incluindo volume molar, compressibilidade e densidade.

Assim, van der Waals considerou as Interações Intermoleculares em suas teorias ao abordar aspectos que distinguiam os líquidos reais dos modelos ideais, especialmente no que se refere às forças atrativas e repulsivas entre moléculas. Em particular, ele reconheceu que as moléculas e os átomos interagem por meio de forças de natureza atrativa, posteriormente denominadas em sua homenagem como "forças de van der Waals", que resultam de flutuações temporárias na distribuição de elétrons, gerando dipolos momentâneos. Essas forças foram incorporadas de forma teórica para explicar propriedades macroscópicas dos líquidos e gases reais (Chao, 2006).

Destacamos que a ideia de forças possui uma perspectiva mais fisicista, que se concentra em quantificar e descrever as relações mecânicas entre as moléculas, ao passo que a ideia de interações abrange uma gama mais ampla de influências, incluindo aspectos mais sutis e complexos, voltados para o campo da Química. A ênfase nas forças também se alinha com a noção de coesão, que é uma característica marcante de uma visão mais empírica e clássica, muitas vezes voltada a uma compreensão mais intuitiva e menos complexa dos fenômenos. Isso parece refletir uma abordagem ingênua, que se baseia na observação direta e nas explicações simplificadas, sem a exploração mais profunda dos fatores contextuais e das dinâmicas que regem esses fenômenos.

Na formulação da equação de estado que leva seu nome (Equação 3, acima), van der Waals introduziu dois parâmetros fundamentais para descrever essas interações:

- O parâmetro **a**, que representa a intensidade das forças atrativas entre as moléculas. Este termo foi responsável por ajustar a pressão do

sistema, considerando que as moléculas, ao serem atraídas umas pelas outras, tendem a diminuir a frequência e a intensidade das colisões com as paredes do recipiente.

- O parâmetro **b**, que reflete o volume efetivo ocupado pelas moléculas, reconhecendo o tamanho finito das partículas e as forças repulsivas que limitam a compressão completa dos líquidos.

Ao levar em conta esses fatores, van der Waals conseguiu proporcionar uma explicação mais precisa das propriedades dos líquidos reais, incluindo o volume molar, a compressibilidade e a densidade. O parâmetro **a** permitiu compreender a coesão entre moléculas no estado líquido, enquanto o parâmetro **b** revelou os efeitos das forças de exclusão volumétrica. Assim, sua teoria representou um avanço significativo na descrição do comportamento de líquidos e gases, destacando o papel das Interações Intermoleculares na determinação de propriedades físicas e químicas das substâncias (Matos, 2009).

Assim, van der Waals elaborou uma teoria do potencial de Interação Intermolecular, descrevendo como as moléculas interagem entre si em termos de um potencial de energia dependente da distância. Essa teoria é importante para modelar as Interações Intermoleculares em uma variedade de sistemas. Ou seja, as contribuições de van der Waals para o estudo das Interações Intermoleculares revolucionaram nossa compreensão das propriedades dos gases e líquidos reais, além de fornecerem uma base teórica para o estudo das interações (Fleming, 2003).

Relacionando essas ideias exploradas, podemos conectar com nosso referencial filosófico, especialmente dentro da zona do racionalismo clássico, onde o conhecimento científico não é visto como algo imutável, mas como um processo dinâmico de transformação constante. Ao integrar uma abordagem que questiona e reformula modelos científicos, Bachelard nos leva a compreender que o saber é sempre construído e reconstruído à medida que novas evidências são incorporadas. A teoria de van der Waals, ao apresentar uma nova maneira de entender as Interações Intermoleculares, exemplifica esse processo de refinamento contínuo do conhecimento, característico do racionalismo clássico. Assim, as interações entre as moléculas não são apenas observadas, mas teorizadas, refletindo a prática científica

que se constrói por meio de revisões teóricas e interpretações cada vez mais complexas e profundas.

Embora van der Waals e John Dalton tenham feito suas contribuições em épocas e áreas diferentes da Química, seus trabalhos estão relacionados no contexto das Interações Intermoleculares. Dalton é notório por sua teoria atômica, proposta no início do século XIX, que postulava os átomos como as unidades fundamentais da matéria e afirmava que os átomos de elementos distintos se combinavam em proporções inteiras para formar compostos. Essa teoria foi um marco no avanço da química moderna.

A relação entre van der Waals e Dalton no contexto das Interações Intermoleculares reside na complementaridade de suas ideias: a teoria atômica de Dalton estabeleceu os fundamentos para entender as propriedades químicas da matéria em termos de átomos e suas combinações. Essa teoria ofereceu a estrutura conceitual necessária para compreender como as moléculas são formadas por átomos e como diferentes átomos interagem para criar compostos (Lobato, 2007).

Além disso, a teoria de Dalton permite evidenciar várias propriedades fundamentais da matéria, como a composição das substâncias, ao postular que a matéria é composta por átomos indivisíveis, criando uma base para compreender as combinações dos elementos e as reações químicas em termos de rearranjo atômico. As leis ponderais da combinação, como a lei das proporções definidas, também são elucidativas dentro dessa teoria, permitindo compreender como as massas dos elementos se combinam de maneira constante e proporcional para formar compostos. Outra propriedade importante é a compreensão das propriedades químicas dos compostos, visto que a teoria de Dalton possibilita entender como a organização atômica resulta em substâncias com características químicas distintas. Embora Dalton não tenha abordado diretamente as Interações Intermoleculares, sua teoria colaborou para o desenvolvimento posterior do entendimento de como as moléculas formadas por átomos interagem entre si, conceito que foi ampliado com a teoria de van der Waals ao considerar as forças de atração entre moléculas em estados físicos específicos (Lobato, 2007).

Teoria Atômica de Dalton estabeleceu os fundamentos para compreender a composição das substâncias em termos de átomos. Por outro lado, a Teoria de van

der Waals descreve as interações entre moléculas, especialmente em gases reais, por meio das interações de van der Waals, que são descritas por ele como forças de atração e repulsão resultantes das flutuações momentâneas na distribuição de elétrons, gerando dipolos induzidos ou temporários nas moléculas. Essas forças incluem tanto as interações de longo alcance, como as forças de dispersão, quanto as interações de curto alcance, como a repulsão devido ao efeito de exclusão volumétrica das moléculas (van der Waals, 1873). Destacamos que embora as interações de van der Waals auxiliem para explicar fenômenos como a condensação de gases em líquidos e a formação de sólidos, elas têm um alcance mais amplo, influenciando uma variedade de processos químicos e físicos.

Neste sentido, Bohr em 1913, contribuiu significativamente para o avanço da compreensão sobre o átomo ao desenvolver um modelo atômico, conhecido como o modelo atômico de Bohr. Esse modelo descrevia o átomo como um núcleo central composto por prótons e nêutrons, com elétrons orbitando em níveis de energia discretos ao redor do núcleo. Assim, o modelo de Bohr proporcionou uma visão mais aprofundada da estrutura atômica e da natureza dos elétrons (Bohr, 1963).

Embora Bohr e Dalton não tenham se dedicado diretamente ao estudo das Interações Intermoleculares, suas teorias sobre a estrutura atômica desempenham um papel basilar na compreensão das interações entre moléculas e átomos, pois as ideias de Dalton sobre a indivisibilidade dos átomos e as de Bohr sobre a organização eletrônica dos mesmos fornecem as bases para entender como as forças de atração e repulsão entre as partículas podem surgir. As Interações Intermoleculares, como as forças de van der Waals, surgem da combinação das cargas elétricas dos átomos e moléculas, conceitos que são descritos pelas teorias atômicas de Dalton e Bohr.

Essas discussões podem ser relacionadas dentro do referencial filosófico de Bachelard, especificamente na zona do racionalismo clássico, uma vez que as contribuições de Dalton e Bohr não implicam uma ruptura radical com o saber anterior, mas configuram uma continuidade construtiva alicerçada em observações empíricas e leis científicas que buscam explicações lógicas e dedutivas para os fenômenos naturais. O racionalismo clássico, que enfatiza a busca pela verdade por meio da razão e da lógica, é particularmente pertinente nesse contexto, pois as teorias atômicas de Dalton e Bohr representam um desenvolvimento incremental do conhecimento.

Ainda, com relação a essas discussões a ideia de elétron, transitando de uma visão clássica, onde era concebido como uma partícula bem definida e localizada, para uma noção completa, em que é descrito como uma região de probabilidade de encontrar carga ao redor do núcleo. Essa transição reflete o avanço do conhecimento e a influência de descobertas e teorias formuladas por cientistas notáveis.

No contexto clássico, Thomson (1897) foi o primeiro a identificar o elétron como uma partícula subatômica, estabelecendo sua carga negativa e massa. Posteriormente, Ernest Rutherford (1911) propôs um modelo atômico em que os elétrons orbitavam um núcleo positivo, reforçando a visão de partículas bem definidas. Esse entendimento, ainda limitado, era suficiente para explicar fenômenos como a condução elétrica e as reações químicas simples, mas não abrangia a complexidade das propriedades quânticas.

Com o desenvolvimento da mecânica quântica, surgiu a visão completa, introduzida inicialmente por Bohr (1913), que propôs que os elétrons ocupavam níveis discretos de energia ao redor do núcleo. Mais tarde, Erwin Schrödinger (1926) reformulou essa concepção ao introduzir sua famosa equação de onda, descrevendo o elétron como uma "nuvem de probabilidade" que representa onde ele pode ser encontrado em determinado instante. Essa abordagem foi complementada por Werner Heisenberg, que formulou o princípio da incerteza, demonstrando que não é possível determinar simultaneamente a posição e a velocidade de um elétron com precisão absoluta.

A transição do elétron como uma partícula localizada no modelo clássico para uma região de probabilidade no modelo completo não apenas redefine sua compreensão, mas também amplia as aplicações científicas e tecnológicas. No modelo clássico, a interação entre elétrons e núcleos explicava propriedades como valência e ligação química de maneira simplificada. Já no modelo completo, a noção probabilística do elétron permite entender fenômenos como hibridização orbital e as Interações Intermoleculares.

Outro ponto que destacamos como importante para nosso percurso epistemológico das Interações Intermoleculares é a concepção da geometria molecular, em que a disposição tetraédrica do carbono foi estabelecida pelo químico holandês Jacobus Henricus van't Hoff e pelo químico francês Joseph Le Bel, em 1874.

Eles propuseram que os grupos ligantes ao átomo central não se dispunham em um plano, mas sim direcionados para os quatro vértices de um tetraedro (Drayer, 2001).

Ressaltamos que a relação entre a concepção da geometria molecular proposta por van't Hoff e Le Bel e nosso percurso epistemológico das Interações Intermoleculares reside no fato de que a definição da geometria molecular, ao considerar a disposição tridimensional dos átomos e ligantes, facilita a compreensão das interações entre as moléculas. Ao estabelecer que os grupos ligantes ao átomo central não se distribuem em um plano, mas sim nos vértices de um tetraedro, como no caso da estrutura do carbono, esses químicos possibilitaram a visualização das forças espaciais que podem influenciar as Interações Intermoleculares. Portanto, assumimos que essa concepção geométrica possibilita a compreensão das interações de van der Waals e outras Interações Intermoleculares, pois as características espaciais das moléculas impactam diretamente as atrações e repulsões entre elas.

Essa concepção teve como ponto de partida a noção de que o carbono é tetravalente, como sugerido pelo químico alemão Friedrich August Kekulé, que primeiro postulou uma teoria da estrutura molecular para explicar como os átomos de carbono se ligam entre si para formar longas cadeias em compostos orgânicos (Ramsay, 1975).

Em 1858, Kekulé e o escocês Archibald Scott Couper lançaram o que se tornou conhecido como Teoria Estrutural, dando-lhes o status de fundadores da química estrutural moderna. A concepção de carbono tetravalente possibilitou a afirmação de que os compostos orgânicos são formados por cadeias de carbono ligados entre si. Couper foi o primeiro a adotar diagramas com traços (Figura 2) para representar arranjos moleculares (Sutton, 2008).

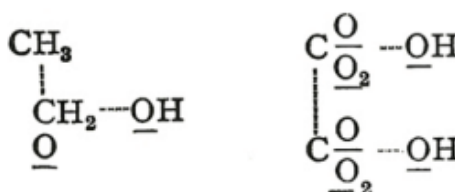


Figura 2: Estruturas moleculares de Couper (1858) para álcool e ácido oxálico.

Fonte: Da Silva; Da Fonseca; De Freitas, 2018.

Com o avanço das análises químicas, surgiram diversas questões sobre a organização dos átomos e moléculas no espaço. Sutton (2008), destaca que cientistas

como Berzelius observaram a existência de substâncias com a mesma composição química, mas propriedades diferentes. Esse fenômeno foi denominado "isomerismo", e vários outros cientistas, incluindo o francês Joseph Gay-Lussac, sugeriram que os pares de moléculas dessas substâncias.

A teoria de Berzelius, fundamentada nas ligações por atração eletrostática, ressurgiu com os estudos sobre dissociação eletrolítica realizados pelo químico sueco Svante Arrhenius em 1884. A ideia central de Berzelius, de que as interações eletrostáticas entre cargas opostas são responsáveis pela formação de ligações, contribuiu para o entendimento de como átomos de cargas diferentes se atraem e se ligam, especialmente em compostos iônicos. No entanto, enquanto a natureza das ligações iônicas estava gradualmente sendo compreendida, o enigma das ligações em compostos apolares persistia, uma vez que, nestes casos, a interação eletrostática não é tão simples, visto que não há uma separação clara de cargas positivas e negativas. Nesse contexto, novas abordagens para a compreensão das Interações Intermoleculares surgiram, como a teoria das interações de van der Waals, que, embora também relacionadas às interações eletrostáticas, envolvem flutuações nas distribuições de carga dentro das moléculas, como as forças de dispersão. Assim, as interações eletrostáticas continuam a ser um ponto central na discussão sobre as ligações químicas, mas é importante considerar como elas se manifestam em diferentes tipos de compostos, incluindo aqueles apolares, para entender melhor as complexas relações de atração e repulsão que regem a química molecular (Kolos; Szczepaniak, 2005).

De acordo com Linus Pauling, renomado químico teórico americano (1960), as representações das ligações químicas na teoria estrutural clássica eram consistentes com muitos fenômenos químicos, mas careciam de significância qualitativa em termos de estrutura molecular. O autor também destacou que a química estrutural moderna se distingue da clássica pela exploração detalhada das moléculas, assim, as interações envolvem discussões que integram uma rede de relações entre as diferentes propriedades e constituição da matéria (Pauling, 1960). Esses avanços técnicos permitiram um estudo mais minucioso das moléculas e das Interações Intermoleculares. A difração de raios X, por exemplo, possibilitou observar a disposição tridimensional das moléculas, propondo como as Interações Intermoleculares afetam as propriedades macroscópicas das substâncias, como

ponto de fusão, viscosidade e solubilidade. A utilização dessas técnicas permitiu que se identificassem padrões e relações entre a estrutura molecular e as Interações Intermoleculares, estabelecendo um entendimento mais profundo sobre como as moléculas interagem fora dos modelos simplificados da teoria clássica.

Em 1916, o químico americano Gilbert Newton Lewis publicou um artigo intitulado "The Atom and the Molecule", que se tornou uma referência para o desenvolvimento da concepção de ligação química covalente. Neste trabalho, Lewis abordou as propriedades das substâncias polares e apolares como resultados das interações eletrônicas nas camadas de valência dos átomos envolvidos. Ele explicou as forças das ligações e Interações Intermoleculares, considerando a polaridade das moléculas e a afinidade eletrônica inerente a cada átomo (Lewis, 1916). Essa análise da polaridade molecular foi um marco no entendimento das Interações Intermoleculares, pois permitiu classificar as interações entre moléculas em termos de suas características elétricas, como as interações de dipolo-dipolo ou interações de van der Waals. As moléculas polares, com uma distribuição desigual de carga, interagem de maneira diferente das apolares, o que influencia diretamente as forças intermoleculares e, conseqüentemente, as propriedades físicas dos compostos.

Lewis sustentou que as propriedades das substâncias poderiam ser explicadas pela "teoria do átomo cúbico". Em 1904, o químico alemão Richard Abegg observou que "a diferença total entre o máximo número de valências ou números polares negativos e positivos de um elemento é frequentemente 8", o que forneceu uma base para Lewis formular seu conceito da "teoria do átomo cúbico", fundamentado na regra do octeto. Na época, Lewis apresentou seis postulados para explicar algumas leis que regem o comportamento das reações químicas (Lewis, 1916). A teoria do átomo cúbico contribuiu para o entendimento das Interações Intermoleculares ao considerar a organização dos elétrons nas camadas de valência e como essas distribuições podem levar a diferentes tipos de interações entre moléculas. A regra do octeto sugere que os átomos tendem a compartilhar ou transferir elétrons de maneira a alcançar uma configuração eletrônica estável, influenciando a maneira como as moléculas interagem umas com as outras. Essas interações não se limitam apenas à ligação covalente, mas também se estendem à forma como as moléculas se atraem ou se repelem, moldando suas propriedades macroscópicas, como ponto de ebulição e solubilidade.

Esses postulados foram fundamentados em descobertas recentes da época. Até 1916, a tabela periódica já havia sido reorganizada de acordo com o número atômico, e já se reconhecia que o número de elétrons era equivalente ao número de partículas positivas no núcleo do átomo. Além disso, os estudos de Rutherford e Bohr sobre a estrutura atômica e a disposição dos elétrons ao redor do núcleo atômico também tinham sido amplamente aceitos pelo público. A reorganização da tabela periódica e a compreensão da estrutura atômica também possibilitaram uma nova perspectiva sobre as Interações Intermoleculares, permitindo a análise das moléculas e seus comportamentos com base em sua posição na tabela periódica e na distribuição eletrônica. A partir dessa reorganização, ficou claro que as moléculas de elementos diferentes têm diferentes afinidades eletrônicas e, portanto, interagem de maneiras distintas, o que abre a porta para um estudo mais detalhado das Interações Intermoleculares.

A relação dessas ideias com o pensamento filosófico de Bachelard, especificamente com a zona do racionalismo completo, pode ser observada na forma como os conceitos de Pauling e Lewis se interligam com a visão de Bachelard sobre o desenvolvimento do conhecimento científico. O racionalismo completo, conforme delineado por Bachelard, considera que a ciência não é apenas uma simples observação empírica, mas sim um processo que envolve raciocínio abstrato e a construção de conceitos teóricos que, por vezes, superam a experiência direta. Ao analisar a evolução das teorias sobre as Interações Intermoleculares, observamos como essas ideias não surgem apenas de dados experimentais, mas também de um aprofundamento teórico das estruturas moleculares. A utilização de técnicas avançadas, como a difração de raios X, permite a construção de modelos teóricos mais refinados, os quais são constantemente reavaliados e ampliados. Esse processo de constante reconstrução teórica é característico do racionalismo completo de Bachelard, que sustenta que a ciência é uma construção intelectual, além de uma simples resposta empírica às observações naturais. Assim, a compreensão das Interações Intermoleculares é fruto de um esforço contínuo de abstração, onde as ideias se conectam e evoluem para um entendimento mais profundo e refinado da realidade molecular.

Além disso, uma teoria das ligações iônicas já estava em vigor, alinhada com a teoria eletrolítica e aplicável a átomos ionizáveis. No entanto, o desafio residia nos

compostos onde não ocorria transferência de elétrons, como no caso do HCl ou CH₄. Em 1927, Nevil Vincent Sidgwick escreveu:

O problema não é meramente descobrir um mecanismo que faz com que os átomos possam se unir sem a transferência de elétrons, mas também explicar porque o valor numérico da valência é o mesmo, de qualquer forma em casos simples, para ambos os tipos de ligação. Assim, hidrogênio e cloro são univalentes, e o oxigênio é divalente, sejam eles combinados com carbono, com metais ou com um ao outro e se as moléculas resultantes são ionizadas ou não (Sidgwick, 1927, p.55, tradução nossa).

A solução para esse dilema foi proposta por Lewis, que sugeriu que as combinações químicas ocorrem de maneira a redistribuir os elétrons dos átomos envolvidos para alcançar um arranjo mais estável. De acordo com ele, uma combinação química pode envolver uma variação de zero a oito elétrons.

Nesse contexto, a ligação pode ocorrer através do compartilhamento de elétrons entre dois átomos, onde a estabilidade é alcançada para ambos, ou seja, a valência de ambos os átomos é satisfeita, originando assim o termo ligação covalente. A representação destes conceitos é feita pelas famosas estruturas de pares de elétrons de Lewis, que são amplamente utilizadas até os dias de hoje. Esse modelo de ligação covalente também abriu caminho para a compreensão das Interações Intermoleculares, uma vez que ele implica em como as moléculas interagem com base nas forças de atração ou repulsão entre os átomos envolvidos na ligação, impactando diretamente as propriedades físicas das substâncias, como solubilidade, ponto de ebulição e outras características importantes.

Essas Interações Intermoleculares são determinantes para muitos comportamentos da matéria, como o estado físico da substância e seu comportamento em diferentes condições ambientais. As Interações Intermoleculares, como as ligações de hidrogênio, interações dipolo-dipolo e forças de dispersão de London, são consequência da polaridade das moléculas ou da distribuição dos elétrons. Por exemplo, a ligação de hidrogênio, que ocorre quando átomos de hidrogênio ligados a átomos fortemente eletronegativos, como oxigênio ou nitrogênio, interagem com pares de elétrons não ligantes em átomos próximos, é um tipo de interação que afeta fortemente as propriedades físico-químicas de substâncias, como a água, que apresenta um ponto de ebulição significativamente mais alto do que outras moléculas de tamanho similar devido a essas interações.

Como resultado dos esforços dos químicos orgânicos para resolver o enigma da disposição espacial dos átomos em compostos opticamente ativos, os arranjos tridimensionais de muitas substâncias orgânicas e inorgânicas já haviam sido revelados até a década de 1930. Sidgwick desempenhou um papel significativo na compreensão das ligações químicas e na estrutura molecular. Em 1927, ele publicou o livro "The Electronic Theory of Valence", no qual as teorias atômicas de Rutherford e Bohr, e principalmente a concepção de ligação química de Lewis, foram empregadas complementarmente para explicar os fenômenos químicos em nível microscópico e estabelecer conexões entre essas teorias e a organização da tabela periódica (Sidgwick, 1927).

Neste livro, a discussão sobre a estrutura tridimensional das moléculas inorgânicas é restrita aos exemplos do campo da estereoquímica e à análise de substâncias opticamente ativas. O autor declara na introdução do livro que evitou discutir qualquer hipótese física que ainda não tivesse sido ratificada por especialistas qualificados. Assim, as explicações mais convincentes sobre a natureza da ligação química e a influência dos elétrons na configuração da molécula começaram a surgir à medida que a pesquisa em mecânica quântica avançava.

Pauling utilizou a mecânica quântica como ferramenta para abordar uma série de questões relacionadas à concepção de ligação química. Em 1931, Pauling expandiu o entendimento da ligação por pares de elétrons e introduziu novos conceitos, como a hibridização de orbitais atômicos, eletronegatividade (forças de ligação entre diferentes átomos), ângulos de ligação, rotação livre em ligações simples e restrição de rotação em ligações duplas, entre outros (Pauling, 1931). Essas ideias sobre hibridização e eletronegatividade trouxeram um avanço significativo para a compreensão das Interações Intermoleculares, pois explicaram como a distribuição espacial dos elétrons influencia a polaridade das moléculas e, conseqüentemente, as forças que atuam entre elas.

Por exemplo, a hibridização de orbitais atômicos explica como moléculas podem exibir formas geométricas específicas (como tetraédrica em moléculas como o metano), que, por sua vez, afetam a forma como as moléculas interagem entre si. Moléculas com formas assimétricas ou com diferentes distribuições de carga podem gerar dipolos permanentes, que geram forças de interação dipolo-dipolo. Essas interações são uma das principais responsáveis pelas diferenças nas propriedades

físicas de substâncias como líquidos e sólidos, como sua solubilidade em água ou sua viscosidade.

As previsões sobre a organização espacial de outras moléculas foram corroboradas pelas evidências provenientes de estudos cristalográficos utilizando difração de raios X. Em seu renomado artigo "The Nature of the Chemical Bond" (A Natureza da Ligação Química) de 1931, Pauling resumiu que, com o auxílio da mecânica quântica, um conjunto de regras relacionadas a pares de elétrons ligantes e não ligantes havia sido formulado (Pauling, 1931).

O primeiro estudo dedicado à categorização dos arranjos espaciais das moléculas de acordo com o número de ligações do átomo central foi publicado em 1939 pelo japonês Ryutaro Tsuchida. Sob a premissa de que é possível determinar algumas propriedades e mecanismos de reações químicas por meio do conhecimento da geometria molecular, Sidgwick e Herbert Marcus Powell (1940) também delinearam a configuração espacial de átomos polivalentes em função do número de ligações correspondente às suas respectivas valências. Em 1940, os autores afirmavam que:

[...] a determinação experimental das posições relativas espaciais dos átomos em uma molécula agora pode ser efetuada através de uma variedade de métodos, dos quais a medida de difração de raios-X em sólidos e elétrons em vapores, espectro de absorção e espectro de Raman, e em casos particulares atividade óptica e momento de dipolo elétrico, estão entre os mais importantes. (Sidgwick & Powell, 1940, p.154, tradução nossa).

A geometria molecular é, portanto, um parâmetro essencial para prever não apenas as propriedades estruturais de uma molécula, mas também as Interações Intermoleculares que ocorrerão. Moléculas com estruturas semelhantes ou com simetrias específicas podem formar agregados moleculares mais estáveis ou mais reativos. A polaridade de uma molécula, determinada pela distribuição desigual dos elétrons devido à geometria molecular e à eletronegatividade dos átomos envolvidos, é fundamental para a formação de ligações de hidrogênio ou outras interações dipolo-dipolo. Essas interações são de fundamental importância para fenômenos como a solubilidade e o comportamento de solventes em diferentes ambientes. Por exemplo, a alta solubilidade do cloreto de sódio em água é explicada pela interação entre os dipolos de água e os íons Na^+ e Cl^- , enquanto substâncias como o óleo (compostos apolares) não formam interações significativas com moléculas de água devido à ausência de polaridade.

A estrutura conceitual das diversas geometrias moleculares - referidas pelos autores como tipos estereoquímicos - incorporou muitos termos que agora são amplamente reconhecidos, como configuração linear, tetraédrica, octaédrica e quadrado planar (Silva; Fonseca; Freitas, 2018). Outras configurações, como aquelas ilustradas na Figura 3, foram posteriormente designadas como formas "trigonal bipiramidal" e "piramidal quadrada", respectivamente:

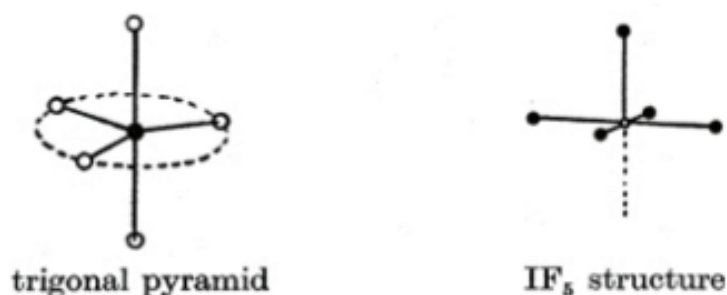


Figura 3: Configurações espaciais.

Fonte: Sidgwick; Powell, 1940.

Os químicos Ronald Gillespie e o Ronald Sydney Nyrolm desempenharam um refinamento dos conceitos subjacentes à organização tridimensional das moléculas. O modelo proposto por Sidgwick e Powell não conseguiu abordar certos problemas mais específicos relacionados à ligação covalente, como a descrição dos mecanismos de formação de uma ligação entre as camadas de valência e a explicação do afastamento dos pares de elétrons uns dos outros.

A geometria molecular é um parâmetro de importância fundamental para a previsão da polaridade de uma molécula, que, por sua vez, possibilita inferências sobre o tipo e a intensidade das Interações Intermoleculares que podem se estabelecer entre moléculas no composto puro, bem como com átomos ou moléculas de outras substâncias. Esse conhecimento da geometria molecular e da polaridade ajudou a refinar a compreensão de como as moléculas interagem, levando ao reconhecimento de diferentes tipos de Interações Intermoleculares, como ligações de hidrogênio, forças de dispersão e interações dipolo-dipolo.

No entanto, a previsão da geometria molecular, mesmo para moléculas simples, frequentemente apresenta-se como um desafio para muitos alunos do Ensino Médio e, por vezes, do Ensino Superior (Sidgwick; Powell, 1940).

Em 1957, Gillespie e Nyholm introduziram um modelo conhecido como "Teoria da Repulsão dos Pares de Elétrons da Camada de Valência" (VSEPR, do inglês Valence Shell Electron Pair Repulsion Theory), fundamentado nos princípios consolidados da mecânica quântica. Com o intuito de explicar a repulsão entre os pares ligantes e não ligantes de um átomo central e seus efeitos na configuração espacial da molécula, os autores empregaram conceitos como hibridização de orbitais atômicos, ligações múltiplas (dupla e tripla) e o princípio da exclusão (Gillespie; Nyholm, 1957).

Neste sentido, Gillespie e Nyholm enfatizaram que:

Parece que a teoria simples das repulsões de pares de elétrons recebe uma justificativa considerável da mecânica quântica e quando refinada para levar em conta as diferenças entre as repulsões entre pares solitários e pares de ligações de elétrons fornece uma teoria muito satisfatória da estereoquímica de moléculas inorgânicas (Gillespie; Nyholm, 1957, p.1, tradução nossa).

Essencialmente, a diferença entre os modelos de Powell e Nyholm reside no fato de que, neste último, a geometria molecular pode ser prevista com base no conhecimento da hibridização dos orbitais correspondentes e no número de pares ligantes e não ligantes da camada de valência. Enquanto a orientação dos pares de elétrons é determinada pela quantidade de orbitais atômicos envolvidos na ligação, a geometria molecular é definida pela quantidade de pares ligantes e não ligantes do átomo central.

Tanto Linus Pauling quanto Robert Mulliken foram pioneiros no desenvolvimento do modelo do orbital molecular. Este modelo descreve a ligação química em termos de orbitais moleculares formados pela combinação linear dos orbitais atômicos dos átomos que compõem a molécula. O modelo fornece uma maneira poderosa de entender a formação de ligações covalentes e outras interações eletrônicas nas moléculas (Mulliken, 1967).

Diante disso, Pauling, reconhecido por suas contribuições para o desenvolvimento do modelo do orbital molecular e para a teoria das ligações químicas, formulou a ideia de hibridação de orbitais atômicos para explicar a geometria de moléculas, como o metano e o etano, e aplicou o conceito de ligação covalente para explicar a natureza da ligação química. Pauling também propôs a noção de

ressonância para descrever moléculas que não podiam ser representadas por uma única estrutura de Lewis (Pauling, 1960).

Mulliken fez contribuições para o desenvolvimento do modelo do orbital molecular e para a interpretação dos espectros moleculares. Ele foi pioneiro na aplicação da teoria dos orbitais moleculares à interpretação de dados espectroscópicos, como espectroscopia de fotoelétrons e espectroscopia de absorção UV-visível. Mulliken também desenvolveu a teoria das populações de elétrons para entender a distribuição de carga em moléculas e a natureza das ligações químicas (Mulliken, 1967).

Embora Pauling e Mulliken tenham abordagens ligeiramente diferentes em relação ao modelo do orbital molecular, seus trabalhos se complementam e influenciaram profundamente o desenvolvimento da química quântica e da teoria das ligações químicas. Ambos contribuíram para a compreensão da natureza da ligação química, da geometria molecular e das propriedades das moléculas por meio do modelo do orbital molecular, desempenhando papéis de destaque no avanço da química molecular e da físico-química.

Ao relacionarmos essas discussões com o conceito de racionalismo completo, conforme proposto por Bachelard, podemos entender como as Interações Intermoleculares e as teorias químicas evoluíram a partir de um processo de abstração e construção teórica rigorosa. O racionalismo completo implica a superação das explicações imediatas e superficiais, como as noções intuitivas de ligações e interações, em favor de um entendimento mais profundo e sistemático. Nesse contexto, as ideias sobre as forças intermoleculares, como as de Lewis, Sidgwick e Pauling, representam tentativas de modelar e representar a realidade molecular por meio de abstrações cada vez mais complexas, baseadas na mecânica quântica e em outras ferramentas teóricas. A introdução de conceitos como hibridização de orbitais atômicos, eletronegatividade e a análise das configurações moleculares não são apenas uma adaptação à realidade observacional, mas uma reinterpretação da natureza das interações moleculares, cada vez mais distantes de explicações empíricas diretas. Essa progressão exemplifica como o racionalismo completo se aplica ao campo da química, buscando sempre modelos mais sofisticados e teoricamente consistentes para explicar fenômenos como as Interações Intermoleculares.

Interações de van Der Waals

Conforme abordamos até aqui, cientistas como Boyle, Charles, Gay-Lussac e van der Waals desempenharam papéis fundamentais como precursores no estudo das Interações Intermoleculares em sistemas químicos (ROCHA, 2001). Relembrando, Boyle foi pioneiro ao investigar a relação entre pressão e volume dos gases, contribuindo indiretamente para o entendimento das forças que atuam entre moléculas em diferentes estados físicos. Charles e Gay-Lussac, por sua vez, aprofundaram o estudo das propriedades dos gases, explorando as relações entre volume e temperatura, o que forneceu insights importantes para compreender como as partículas interagem em condições variadas. van der Waals trouxe uma das contribuições mais inovadoras ao propor correções à teoria dos gases ideais, introduzindo a ideia de que forças de atração e repulsão entre moléculas afetam o comportamento dos gases reais. Ele também formalizou a existência de forças intermoleculares que mais tarde seriam conhecidas como forças de van der Waals, essenciais para entender interações como as que ocorrem em líquidos e sólidos. Essas contribuições não apenas abriram caminho para a compreensão moderna das Interações Intermoleculares, mas também estabeleceram bases para o desenvolvimento de teorias subsequentes sobre a coesão e a estrutura da matéria.

Devido a esses estudos, sabemos atualmente que esse conceito provém de forças essencialmente elétricas, que atuam entre moléculas. Isso significa que, numa perspectiva completa, as Interações Intermoleculares são originadas da atração e repulsão entre cargas elétricas presentes nas moléculas, sejam elas resultantes de dipolos permanentes, momentâneos ou induzidos. Ressaltamos que essas interações derivam de criações abstratas como processos de hibridização e estruturas moleculares calculadas. Essas forças incluem desde ligações de hidrogênio, que envolvem uma interação significativa entre dipolos, até forças de van der Waals, que dependem de flutuações momentâneas na distribuição eletrônica. Esse caráter elétrico subjacente explica tanto a coesão em líquidos quanto a organização de sólidos moleculares.

O termo “Forças de van Der Waals” surge de uma homenagem ao cientista que contribuiu com seus estudos para o entendimento das Interações Intermoleculares. Dentre elas consideraremos: Interação dipolo induzido-dipolo

induzido (interações de dispersão de London) e as interações dipolo-dipolo, estas podem ser subdivididas em Interações dipolo permanente - dipolo induzido (interações de Debye) e Interações dipolo permanente - dipolo permanente (interações de Keesom). E, ainda, um tipo específico de dipolo permanente-dipolo permanente, denominada de ligação de hidrogênio.

- **Interações dipolo permanente - dipolo induzido (Interações de Debye)**

Peter Debye foi um proeminente físico e químico neerlandês, nascido em 24 de março de 1884, em Maastricht, nos Países Baixos. Seu nome completo era Petrus Josephus Wilhelmus Debije, mas ele ficou conhecido pelo sobrenome alemão "Debye". Debye fez contribuições significativas para várias áreas da Ciência, incluindo a físico-química, a eletroquímica, a termodinâmica e a espectroscopia (Davies, 1970). Debye iniciou seus estudos na Universidade de Aachen, na Alemanha, onde obteve seu doutorado em física em 1908. Após concluir seu doutorado, Debye passou a trabalhar como professor universitário e pesquisador em várias instituições.

Em 1912 Debye realizou estudos que, mostraram que, quando uma molécula polar se aproxima de uma molécula apolar, há formação de dipolos. Segundo o pesquisador, as moléculas polares apresentam regiões com cargas parciais opostas (positiva e negativa), em função da diferença de eletronegatividade entre os seus átomos, podendo deslocar a nuvem eletrônica das moléculas apolares e assim induzir a formação de dipolos nas mesmas. Ocorre, portanto, interação de um dipolo permanente e um dipolo induzido entre as moléculas envolvidas. Um dos exemplos que pode ser citado é a dissolução do iodo (I_2) sólido em água (Fleming, 2003; BRADY; SENESE, 2012).

As interações dipolo permanente-dipolo induzido, embora o uso específico desse termo não tenha uma referência claramente identificada, tiveram seu entendimento significativamente aprimorado por Debye. Essas interações ocorrem quando uma molécula polar, caracterizada por um dipolo permanente devido à assimetria em sua distribuição de carga, induz a formação de um dipolo temporário em uma molécula não polar próxima. Em sua obra *Intermolecular Forces* (1945), Debye descreveu essas interações utilizando o termo "força de indução", destacando o papel das propriedades elétricas das moléculas nesse tipo de atração intermolecular.

Este fenômeno ocorre devido à distorção da distribuição de elétrons na molécula não polar, causada pela presença do dipolo permanente da molécula polar. Essas interações desempenham um papel significativo em uma variedade de fenômenos físicos e químicos, incluindo a solubilidade de substâncias em solventes polares, as propriedades de dissolução e a estabilização de coloides (Oliveira; Araújo, 2012).

Debye explorou experimentalmente os efeitos da presença de moléculas polares em líquidos e gases não polares, observando como essas moléculas afetavam as propriedades físicas e químicas do meio. Ele utilizou medições da constante dielétrica para avaliar como a polarização de moléculas não polares era induzida pela presença de moléculas com dipolos permanentes, empregando campos elétricos externos para quantificar a capacidade dessas moléculas de se alinhar ou induzirem polarizações em outras. Além disso, investigou o índice de refração das misturas, comparando o comportamento de sistemas polares e apolares em diferentes condições de temperatura e pressão, o que permitiu identificar variações na densidade eletrônica e na estrutura molecular que evidenciavam a formação de dipolos induzidos.

Por meio de análises matemáticas, Debye correlacionou os resultados experimentais com modelos teóricos que relacionavam o momento dipolar de moléculas polares à capacidade de influenciar outras moléculas. Ele também utilizou técnicas como difração de raios-X e dispersão de luz para observar as interações em nível microscópico, fornecendo uma base sólida para a descrição das forças de indução. Através de sua abordagem experimental e teórica, Debye foi capaz de confirmar a existência e a natureza das interações dipolo permanente-dipolo induzido (Debye, 1945).

Um dos principais experimentos realizados por Debye envolveu o estudo das propriedades de soluções contendo moléculas polares dispersas em solventes não polares. Para isso, ele desenvolveu técnicas de medição de viscosidade, condutividade elétrica e temperatura de ebulição das soluções. Por meio de experimentos, observou como as propriedades dessas soluções variavam com a concentração de moléculas polares. Ele também investigou a dependência dessas propriedades em relação à temperatura e à pressão (Debye, 1945).

Além disso, Debye desenvolveu modelos teóricos sofisticados para descrever essas interações, utilizando princípios fundamentais da física e da química. Ele combinou sua compreensão das interações elétricas e moleculares com técnicas matemáticas avançadas para formular equações que descreviam com precisão o comportamento das moléculas em sistemas dipolo permanente-dipolo induzido.

$$P = N \left(\alpha + \frac{\mu^2}{3kT} \right) E \text{ (Equação 4)}$$

Essa equação não apenas descreve matematicamente a polarização de moléculas polares em um campo elétrico, mas também permite emergir a ideia de como as propriedades elétricas intrínsecas das moléculas podem ser moduladas por fatores externos, como temperatura e intensidade do campo. No contexto da Ciência, ela expande o perfil teórico ao fornecer uma base quantitativa para compreender e prever o comportamento molecular em diferentes condições. Isso reforça o caráter integrador da abordagem científica de Debye, que conecta propriedades microscópicas a fenômenos macroscópicos, ampliando a capacidade de explicação e previsão no estudo das Interações Intermoleculares.

A relação dessa abordagem com o racionalismo completo de Bachelard é evidente, uma vez que Debye adota uma postura que vai além da mera observação empírica e busca por leis universais. Ele não se limita apenas à descrição dos fenômenos observados, mas também utiliza raciocínios teóricos e matemáticos complexos para entender e prever o comportamento das moléculas em diferentes contextos. Essa abordagem reflete o movimento do racionalismo completo, que, segundo Bachelard, envolve uma ruptura com explicações superficiais e um esforço para construir teorias que se baseiem em um conhecimento profundamente sistematizado e teórico, movendo-se para um entendimento mais amplo e fundamentado das leis da natureza.

As equações que descrevem as interações dipolo permanente-dipolo induzido geralmente incorporam princípios fundamentais da eletrostática e teoria quântica. Esses princípios são observados na modelagem do potencial intermolecular, que é uma função matemática que leva em conta a distância entre os dipolos, a polaridade das moléculas e fatores termodinâmicos, como temperatura e pressão. No caso do modelo de Debye, por exemplo, a interação entre os dipolos é tratada com base na eletrostática clássica, enquanto a teoria quântica contribui para o entendimento das

distribuições de carga e a interação entre as partículas a nível microscópico. A observação disso ocorre a partir da análise experimental de como as moléculas respondem a mudanças em variáveis como temperatura e campos elétricos. Essas respostas podem ser medidas através de experimentos que investigam, por exemplo, a polarização de sistemas em diferentes condições, comparando as previsões teóricas com os resultados obtidos experimentalmente (Debye, 1929).

Em 1936, Debye recebeu o Prêmio Nobel de Química em reconhecimento ao seu trabalho em dispersão de luz e por suas contribuições para a compreensão da estrutura molecular por meio de métodos de difração de raios X e espectroscopia de luz dispersa.

- **Interações dipolo permanente - dipolo permanente (interações de Keesom)**

Willem Hendrik Keesom foi um físico neerlandês, nascido em 21 de junho de 1876, na cidade de Groningen, nos Países Baixos. Sua carreira científica foi marcada por contribuições significativas para a física de baixas temperaturas e para o entendimento das propriedades dos materiais em condições extremas.

Keesom iniciou seus estudos na Universidade de Groningen, onde se destacou como um estudante excepcional. Ele obteve seu doutorado em física em 1904 e logo começou a lecionar na mesma universidade. Foi lá que ele demonstrou um interesse particular no estudo do comportamento dos materiais em temperaturas muito baixas, uma área que logo se tornaria o foco principal de sua pesquisa.

Em 1921, Keesom concluiu, por meio de cálculos matemáticos, que a energia de interação entre moléculas com dipolos permanentes (ou interações dipolo-dipolo) pode ser modelada levando em conta a orientação relativa e a atração eletrostática entre os dipolos permanentes. Para chegar a essa conclusão, Keesom utilizou a teoria clássica da eletrostática, considerando que os dipolos permanentes em moléculas polares se comportam como pequenos dipolos elétricos e, portanto, interagem entre si. Ele formulou um modelo matemático para descrever como a energia potencial de interação entre essas moléculas depende da distância entre elas e da orientação de seus dipolos, levando em consideração a força de atração ou repulsão resultante da interação eletrostática entre os momentos dipolares. Esse modelo também levou em consideração a configuração espacial das moléculas, sendo essencial para o cálculo

da energia de interação, que é expressa pela fórmula derivada por Keesom. A energia de interação entre duas moléculas com dipolos permanentes, também conhecida como energia de Keesom, pode ser expressa pela seguinte fórmula:

$$U = -\frac{2 \cdot \mu_1^2 \cdot \mu_2^2}{3 \cdot k \cdot T \cdot r^6}$$

(Equação 5)

Considerando essa equação, observamos que o cálculo para a energia de interação entre moléculas com dipolos permanentes parte da consideração de que as moléculas polares possuem dipolos elétricos — ou seja, separações de carga positiva e negativa ao longo de sua estrutura. Quando duas dessas moléculas interagem, elas experimentam uma interação de atração eletrostática que depende da orientação de seus dipolos e da distância entre elas.

Esses cálculos são importantes para entender as moléculas polares, como o HCl e o HBr, em que os átomos têm diferentes eletronegatividades, criando dipolos permanentes que interagem conforme o modelo descrito por Keesom (Fleming, 2003). Para que esses cálculos fossem possíveis, foi necessário primeiro aceitar os pressupostos fundamentais da teoria eletrostática, que tratam os dipolos permanentes como entidades físicas responsáveis pelas Interações Intermoleculares. Retomando, um dos primeiros cientistas a contribuir para essa base teórica foi Charles-Augustin de Coulomb, que no século XVIII formulou a Lei de Coulomb, a qual descreve a força de interação entre cargas elétricas, um princípio fundamental para entender as interações eletrostáticas. Em seguida, Michael Faraday, no século XIX, expandiu o entendimento dessas interações ao introduzir o conceito de campo elétrico, que permitiu uma melhor descrição da interação entre partículas carregadas em diferentes materiais. A contribuição de James Clerk Maxwell, também no século XIX, colaborou para o desenvolver as equações de Maxwell, que unificaram a teoria eletrostática com as leis do magnetismo, fornecendo uma descrição completa das forças elétricas e magnéticas. Com esses pressupostos teóricos solidificados, Keesom pôde aplicar sua própria abordagem para modelar as interações entre moléculas polares, considerando que elas possuem uma separação de carga devido à diferença de eletronegatividade entre os átomos, resultando em dipolos permanentes. Antes de aplicar sua fórmula para calcular a energia de interação entre essas moléculas, Keesom precisou validar o conceito de que as interações entre dipolos são dominadas por forças de atração e

repulsão eletrostática, dependendo da orientação e da distância entre as moléculas. Esse entendimento foi um ponto de partida essencial, pois permitiu que ele desenvolvesse o modelo matemático que descreve essas interações de maneira quantitativa.

A proposta das interações dipolo permanente-dipolo permanente por Keesom foi parte de um esforço mais amplo para entender como as moléculas interagem entre si em diferentes substâncias. Já se sabia, por meio de experimentos anteriores e observações, que as moléculas de água, por exemplo, são polares devido à diferença de eletronegatividade entre os átomos de hidrogênio e oxigênio, resultando em um dipolo permanente. Este conhecimento originou-se a partir de estudos sobre a estrutura molecular da água, como os realizados por Linus Pauling, que em 1939 apresentou uma explicação teórica detalhada sobre a distribuição desigual de carga dentro da molécula de água, levando à formação de um dipolo permanente. Sabia-se também, desde os experimentos de Friedrich Wilhelm Herschel em 1800, que substâncias polares, como a água, exibem comportamentos distintos quando submetidas a campos elétricos externos, o que sugeria a presença de interações eletrostáticas entre as moléculas. Keesom, ao aplicar essas observações ao seu modelo, concluiu que, em substâncias onde as moléculas têm dipolos permanentes, como a água, surgem forças atrativas entre essas moléculas, decorrentes da interação entre os dipolos permanentes adjacentes, que podem se alinhar e formar interações atrativas ou repulsivas dependendo da orientação e da distância entre eles (Israelachvili, 2011).

Keesom conduziu experimentos para investigar essas interações em diferentes condições ambientais, especialmente em temperaturas muito baixas, onde as propriedades dos materiais podem mudar drasticamente. Antes de Keesom, cientistas como James Dewar (1898) e Albert Einstein (1926) já haviam utilizado técnicas de resfriamento criogênico para estudar os efeitos de temperaturas extremamente baixas em materiais, como o uso do hélio líquido para alcançar temperaturas próximas ao zero absoluto. Dewar, por exemplo, foi pioneiro na liquefação do hélio, permitindo resfriar substâncias a temperaturas muito baixas, o que proporcionou uma nova perspectiva sobre as mudanças nas propriedades dos materiais em condições extremas. No entanto, Keesom foi um dos primeiros a aplicar essas técnicas especificamente para estudar as Interações Intermoleculares em materiais com

dipolos permanentes a essas temperaturas extremas. Ele utilizou esses métodos, como o uso de hélio líquido, para observar diretamente as alterações no comportamento das moléculas em um ambiente de baixa temperatura, onde as interações moleculares se tornam mais evidentes e as propriedades dos materiais podem mudar drasticamente. Ele também explicou que, ao resfriar substâncias a essas temperaturas, poderia eliminar a influência da energia térmica nas interações, permitindo que ele isolasse e estudasse as forças intermoleculares com mais precisão. Isso permitiu observar o comportamento de materiais em estados próximos ao zero absoluto e entender como as interações dipolo-dipolo se comportam quando as moléculas estão mais 'paradas' e não são perturbadas pelo movimento térmico. Além disso, ele desenvolveu teorias e modelos matemáticos para descrever essas interações, fornecendo uma estrutura conceitual sólida para entender como as moléculas se comportam em diferentes substâncias e condições (Barron; Nellis, 2017).

Essas interações são importantes em substâncias que consistem em moléculas permanentemente polarizadas, como água e muitos compostos orgânicos. Elas são expressões diretas das Interações Intermoleculares, influenciando propriedades como o ponto de ebulição, a pressão de vapor e a viscosidade dessas substâncias. A abordagem adotada aqui remete à zona do racionalismo completo de Bachelard, onde o conhecimento não é apenas influenciado por observações empíricas, mas busca uma explicação profunda e estruturada que revela as causas subjacentes dos fenômenos. Nesse contexto, a afirmação de que essas interações "influenciam" as propriedades não é meramente uma observação empírica, mas uma tentativa de representar como que essas propriedades são, de fato, manifestações dessas interações fundamentais. Ao tratar as interações dipolo permanente-dipolo permanente como uma causa subjacente, a teoria não se limita a observar, mas vai além, oferecendo uma explicação que se conecta diretamente às propriedades observadas. Esse movimento de explicação, que articula causas e efeitos, é característico do racionalismo completo, que busca, por meio de uma estrutura lógica, desvendar as razões por trás dos fenômenos naturais.

- **Interação dipolo induzido-dipolo induzido (interações de dispersão de London)**

Fritz London nasceu em 7 de março de 1900, em Breslau, Alemanha (atualmente Wrocław, Polônia). Ele estudou física e matemática em várias universidades na Alemanha, incluindo a Universidade de Göttingen, onde obteve seu doutorado em 1921. London passou a maior parte de sua carreira acadêmica na Alemanha, mas emigrou para os Estados Unidos em 1933 devido à ascensão do regime nazista.

A discussão de London sobre as forças de dispersão (termo utilizado pelo autor em vez de "interações dipolo induzido-dipolo induzido", termo que surgiu posteriormente) foi um marco na compreensão das Interações Intermoleculares, pois demonstrou que até mesmo moléculas aparentemente não polares podem exibir momentos dipolares temporários. Para compreender como essa ideia surge, é necessário observar o contexto anterior a London, que se baseia nas descobertas sobre as flutuações nas distribuições eletrônicas das moléculas. A proposta de London não surgiu de uma explicação isolada, mas de uma construção teórica fundamentada nas teorias anteriores sobre a eletrostática, especialmente as contribuições de Coulomb e Maxwell, que estabeleceram as bases para a compreensão das forças entre cargas elétricas, e nas descobertas sobre a polarização induzida.

O trabalho de Debye sobre as interações dipolo permanente-dipolo induzido também forneceu uma base fundamental, demonstrando como moléculas não polares podem ser polarizadas pela presença de dipolos permanentes, criando um dipolo induzido. Além disso, as descobertas de Keesom e os experimentos sobre a orientação e interação de dipolos permanentes ajudaram a configurar um entendimento mais detalhado sobre as interações moleculares.

Ao estudar as moléculas em diferentes condições e perceber o movimento das nuvens eletrônicas, London propôs que as moléculas não polares podem exibir dipolos temporários, que são induzidos pela proximidade de outras moléculas. Portanto, a ideia de London surge a partir da observação das interações microscópicas e das flutuações naturais das moléculas, levando à formulação de um novo tipo de Interação Intermolecular. A mobilização dessa ideia ocorre na tentativa

de explicar e sistematizar fenômenos que já estavam sendo observados, mas que careciam de uma explicação teórica sólida. Quando duas moléculas com dipolos induzidos se aproximam, elas interagem entre si, gerando forças de atração, mesmo que as moléculas individualmente não sejam polarizadas (London, 1930).

As interações dipolo induzido-dipolo induzido são as Interações Intermoleculares mais fracas, porém, são universais e estão presentes em todas as substâncias. Elas desempenham um papel de destaque em uma variedade de fenômenos, desde a coesão entre moléculas em gases nobres até a adesão entre moléculas em substâncias não polares, como hidrocarbonetos (Atkins; De Paula, 2010).

A compreensão das forças de dispersão proposta por London contribuiu para o desenvolvimento da teoria das interações de van der Waals, pois ela revelou como moléculas não polares, que aparentemente não interagem, podem gerar forças de atração devido a dipolos temporários induzidos pela proximidade de outras moléculas. Antes dessa descoberta, acreditava-se que apenas moléculas polares, com dipolos permanentes, poderiam interagir dessa forma. A partir das observações de London, foi possível compreender como flutuações nas distribuições eletrônicas das moléculas criam momentos dipolares temporários que induzem forças atrativas, mesmo em moléculas não polares. Essas descobertas foram um pilar para o entendimento das Interações Intermoleculares de modo geral, permitindo, por exemplo, a explicação das propriedades de materiais que dependem dessas interações, como os gases nobres, e a análise das mudanças de propriedades em diferentes condições físicas e químicas, como temperatura e pressão. Dessa forma, a contribuição de London foi importante para expandir e refinar a teoria das Interações Intermoleculares e para a compreensão mais profunda do comportamento dos materiais.

Para compreender o referencial filosófico que mobiliza a ideia de London sobre as forças de dispersão, podemos relacioná-la com a zona do racionalismo completo, conforme proposto por Bachelard. Essa zona está associada ao desenvolvimento de teorias científicas que envolvem um processo dialético, onde o conhecimento não é apenas uma repetição ou aplicação de conceitos existentes, mas uma revisão crítica e reinterpretação das ideias anteriores. No caso de London, ele não se limitou a aplicar modelos existentes, mas desenvolveu um novo entendimento das Interações Intermoleculares, considerando as flutuações nas distribuições eletrônicas das

moléculas e introduzindo a ideia de forças de dispersão, algo que não estava presente na teoria anterior.

London, ao desafiar a ideia de que apenas moléculas polares podem interagir, foi capaz de integrar o conhecimento sobre a eletrostática e a polarização induzida em uma nova abordagem que explicava como moléculas não polares poderiam exibir dipolos temporários induzidos. Isso é um exemplo claro de um processo dialético, pois ele não apenas aceitou o que já se sabia, mas subverteu essas ideias, desafiando a teoria estabelecida e introduzindo uma explicação nova e mais complexa. Esse movimento de transformação de ideias antigas em novas abordagens é característico do racionalismo completo, onde há uma superação das noções anteriores e uma construção do novo conhecimento, que surge da revisão, crítica e recombinação das ideias pré-existentes.

Logo, ao relacionar a teoria das forças de dispersão com o racionalismo completo, vemos como London aplicou uma abordagem que foi além da observação empírica simples, e sim uma interpretação aprofundada das observações que permitiu que uma nova teoria fosse formulada, refinando e expandindo o entendimento das interações moleculares.

- **Ligação de Hidrogênio**

As ligações de hidrogênio, ao contrário de outras formas de Interações Intermoleculares, não estão associadas diretamente ao nome de um cientista específico. No entanto, diversos pesquisadores contribuíram significativamente para o entendimento desse fenômeno. O histórico das ligações de hidrogênio remonta ao início do século XX, quando cientistas como G.N. Lewis e Maria Skłodowska-Curie iniciaram investigações sobre as propriedades singulares da água e de outros compostos. As observações desses cientistas sobre como essas substâncias estabeleceram as bases para a formulação da teoria das ligações de hidrogênio. Um ponto importante nessa trajetória foi o trabalho de Linus Pauling, cujo tratado seminal "The Nature of the Chemical Bond" (1931) abordou minuciosamente a natureza e as implicações dessas interações. Pauling foi pioneiro ao reconhecer as ligações de hidrogênio como uma força de significativa importância nas propriedades das substâncias (Lewis, 1923; Pauling, 1931).

A partir dos avanços da teoria quântica e da mecânica quântica no século XX, foi possível entender com maior precisão o papel dos elétrons e das interações eletrostáticas na formação das ligações de hidrogênio. A introdução de métodos de cálculo, como a Teoria do Funcional da Densidade (DFT), forneceu uma estrutura matemática para descrever a distribuição eletrônica nas interações de hidrogênio. Esses avanços permitiram que cientistas quantificassem a intensidade das ligações de hidrogênio e explorassem como essas interações variam conforme a geometria e a polaridade das moléculas envolvidas (Koch; Holthausen, 2001).

Em paralelo, o desenvolvimento de técnicas experimentais como a cristalografia de raios X e a espectroscopia de infravermelho revolucionaram a análise estrutural de moléculas, permitindo a observação direta de padrões de ligação de hidrogênio em cristais e moléculas complexas. A cristalografia de raios X, em particular, foi importante para considerar a existência das ligações de hidrogênio em estruturas biológicas e para compreender como essas interações influenciam a forma e a estabilidade das biomoléculas (Glusker; Trueblood, 2010).

O entendimento das ligações de hidrogênio evoluiu para se tornar uma parte fundamental da química e da biologia estrutural. Hoje, a importância dessas ligações é reconhecida em áreas como a farmacologia, onde a interação molecular baseada em ligações de hidrogênio é crítica para o design de medicamentos. Essa trajetória mostra como as ligações de hidrogênio foram, progressivamente, ganhando status de uma força de coesão importantes para a formação de estruturas complexas e funcionalmente significativas.

O desenvolvimento do entendimento das ligações de hidrogênio, especialmente com a introdução de métodos como a Teoria do Funcional da Densidade (DFT), pode ser relacionado à zona do racionalismo completo de Bachelard. A compreensão das ligações de hidrogênio não se deu apenas por meio da simples acumulação de dados experimentais, mas, principalmente, pela construção teórica e pelo questionamento constante das explicações anteriores. A DFT, por exemplo, representa uma reconfiguração teórica profunda, que permite descrever e quantificar a distribuição eletrônica nas interações de hidrogênio, refletindo a ideia de que o conhecimento científico é um processo dinâmico e reflexivo. Ao integrar observações experimentais com modelos matemáticos avançados, esse campo evolui, proporcionando uma compreensão mais detalhada das interações

moleculares. Assim, a teoria das ligações de hidrogênio, desenvolvida ao longo do tempo, exemplifica o processo completo que Bachelard descreve, onde o conhecimento científico se constrói e se refina à medida que novas abordagens e tecnologias são incorporadas, sempre com um caráter de questionamento e reinterpretção das bases estabelecidas.

Encaminhamentos finais

Ao longo deste trabalho, investigamos as Interações Intermoleculares como um conceito central na Química, reconhecendo sua importância para diversas subáreas e para a compreensão fundamental da matéria. Adotando uma abordagem pautada nos pressupostos epistemológicos de Bachelard, buscamos destacar a relevância de uma reflexão crítica sobre o desenvolvimento desse conceito, superando a mera abordagem histórica e adotando uma perspectiva que enfatiza a construção das ideias. Neste processo, procuramos relacionar as discussões desenvolvidas com as zonas epistemológicas em que essas ideias se inserem, oferecendo uma análise mais profunda e articulada sobre a evolução e a fundamentação desse campo do conhecimento.

O estudo das interações de van der Waals contribuiu para a compreensão das forças intermoleculares que regem a interação entre as moléculas. Ao longo deste trabalho, exploramos as contribuições históricas de cientistas como van der Waals, Debye, Keesom, London e Pauling, que foram essenciais para a formulação das principais teorias que explicam essas interações, como as interações de dispersão de London, as interações dipolo-dipolo e as ligações de hidrogênio. Essas forças, embora de magnitudes variadas, têm um impacto profundo em diversas propriedades físicas e químicas das substâncias.

A interação dipolo permanente-dipolo induzido, proposta por Debye, e a interação dipolo permanente-dipolo permanente, descrita por Keesom, demonstram como moléculas polares influenciam umas às outras, afetando características como a solubilidade e o comportamento das substâncias em diferentes estados. Por sua vez, as interações de dispersão de London evidenciam a universalidade dessas forças, presentes até mesmo em moléculas não polares, sendo responsáveis por fenômenos como a coesão em gases nobres e a adesão entre hidrocarbonetos.

A compreensão das ligações de hidrogênio, uma das formas mais fortes de Interação Intermolecular, foi aprimorada com os avanços da mecânica quântica e das técnicas experimentais modernas, como a cristalografia de raios X, que possibilitaram a visualização dessas interações em estruturas biológicas. O papel das ligações de hidrogênio na estabilização de biomoléculas e na formação de estruturas complexas, como proteínas e ácidos nucleicos, é agora amplamente reconhecido.

A proposta de incorporar possíveis aspectos que surgem desse percurso epistemológico alinhados ao Ensino de Química podem resultar no enriquecimento nas práticas didáticas, possibilitando aos estudantes uma visão mais aprofundada e contextualizada do conceito de Interações Intermoleculares. Ao reconhecer a complexidade e as nuances do desenvolvimento desse conhecimento, torna-se possível engajar estudantes em uma compreensão mais crítica e dinâmica da Ciência.

Referência:

- ATKINS, P.; DE PAULA, J. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o futuro do planeta**. 8. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2010.
- ATKINS, P.; DE PAULA, J. **Físico-Química**. Bookman Editora, 2018.
- AVOGADRO, A. *Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons*. *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle*, 73, 58-76, 1811.
- BACHELARD, G. **A Filosofia do Não: filosofia do novo espírito científico**. Trad. Joaquim José Moura Ramos. (5ª edição ed.). Lisboa: Editorial Presença, 1991.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BARRON, R. F.; NELLIS, G. F. **Cryogenic heat transfer**. CRC press, 2017.8
- BOHR, N. **Sobre a constituição de átomos e moléculas**. In: Textos Fundamentais da Física Moderna: II Volume. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 1963.
- BRADY, J.; SENESE, F. **Química: a Matéria e Suas Transformações**. 5.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2012.
- BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. **Química: a ciência central**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- CHAO, I. R. S. **Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- CLAUSIUS, Rudolf. **Ueber die bewegende Kraft der Wärme: und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten Lassen**. W. Engelmann, 1898.
- CINDRA, J. L.; TEIXEIRA, O. P. B. Calor e temperatura e suas explicações por intermédio de um enfoque histórico. **Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro**. Campinas: AFHIC, 2004.
- CLAUSIUS, R. J. E. **Ueber die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen**, 1857.

DA SILVA, K. S.; DA FONSECA, L. S.; DE FREITAS, J. Duarte. Uma breve história da Geometria Molecular sob a perspectiva didático-epistemológica de Guy Brousseau. *Acta Scientiae*, v. 20, n. 4, 2018.

DAVIES, M.; HEISENBERG, W. K.; RUTHERFORD, E. **Peter Joseph Wilhelm Debye**, 1884-1966. 1970.

DEBYE, P. **Intermolecular Forces**. New York: Dover Publications, 1945.

DEBYE, P. **Polar Molecules**. New York: Chemical Catalog Company, 1929

Drayer, D. E. **The early history of stereochemistry: from the discovery of molecular asymmetry and the first resolution of a racemate by Pasteur to the asymmetrical chiral carbon of van't Hoff and Le Bel***. *Clinical Research and Regulatory Affairs*, 18(3), 181-203, 2001.

FERREIRA, G. M. P. **Proposta de um modelo físico facilitador para contextualização da Termodinâmica**. 2012.

FLEMING, H. **Forças de van der Waals**. Física moderna. Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada, Ensino de física online, 2003.

GATTO, M. A. **O modelo atômico de Dalton: uma proposta de situação de estudo articulando história da ciência e ensino**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

GILLESPIE, R. J.; NYHOLM, R. S. **The theory of electron-pair repulsions**. *Transactions of the Faraday Society*, v. 53, p. 1961-1971, 1957.

GLUSKER, J. P.; TRUEBLOOD, K. N. **Crystal Structure Analysis: A Primer**. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 2010.

ISRAELACHVILI, J. N. **Intermolecular and Surface Forces**. 3rd ed. Amsterdam: Academic Press, 2011.

KOCH, W.; HOLTHAUSEN, M. C. **A Chemist's Guide to Density Functional Theory**. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2001.

KOLOS, W.; SZCZEPANIAK, S. **História da ligação química**. São Paulo: Editora Blucher, 2005.

Lewis, G. N. **The Atom and the Molecule**. *Journal of the American Chemical Society*, 38, 762-785, 1916.

LEWIS, G. N. **Valence and the Structure of Atoms and Molecules**. Chemical Catalog Company, 1923.

LOBATO, C. B. **Misturas e combinações químicas: estudos e explicações atômicas de John Dalton (1766 – 1844)**. Dissertação de Mestrado. PUC-SP. São Paulo. 2007.

LONDON, F. **Zur Theorie und Systematik der Molekularkräfte**. *Zeitschrift für Physik*, v. 63, p. 245–279, 1930.

MIRANDA, A. C. G.; BRAIBANTE, M. E. F.; PAZINATO, M. S. **Tendências do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares a partir da análise de publicações em periódicos nacionais e internacionais**. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. Espanha. Vol. 17, n. 2 (2018), p. 394-419, 2018.

MOURA, B. A. **A filosofia natural de Benjamin Franklin: traduções de cartas e ensaios sobre a eletricidade e a luz**. Editora UFABC, 2019.

MULLIKEN, R. S. **Spectroscopy, molecular orbitals, and chemical bonding**. *Science*, v. 157, n. 3784, p. 13-24, 1967.

NETO, W. N. A. A. **A noção clássica de valência e o limiar da representação estrutural**. *Química Nova na Escola*, n. 7, p. 13-24, 2007.

NOGUEIRA, H. S. A.. **O conceito de valência em livros didáticos de Química Geral para o nível superior nas primeiras décadas do século XX**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, B. G.; ARAÚJO, R. C. M. U. **SAPT: ligação de hidrogênio ou interação de van der Waals?**. Química Nova, v. 35, p. 2002-2012, 2012.

PAULING, L. **The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals: An Introduction to Modern Structural Chemistry**. 3. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1960.

PAULING, L. **The nature of the chemical bond**. Journal of the American Chemical Society, v. 53, n. 4, p. 1367-1400, 1931.

Ramsay, O. B. **Molecular Models in the Early Development of Stereochemistry: I. The van't Hoff Model. II. The Kekulé Models and the Baeyer Strain Theory. van't Hoff-Le Bel Centennial**. American Chemical Society: Symposium Series, Washington, EUA, 74-96, 1975.

RINALDI, F.. A lei de Boyle como exemplo de experimentação e aprendizagem. **Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física)**–Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ROCHA, W. R. **Interações intermoleculares**. Cadernos temáticos de Química Novana Escola, São Paulo, n. 4 p. 31-36, 2001.

ROSA, P. R. S. **Uma Introdução a Pesquisa Qualitativa em Ensino de Ciências**. Campo Grande: UFMS, 2013.

SANTORO, A. **Um pioneiro da física moderna e um dos criadores da mecânica estatística**. Revista Primus Vitam N^o, v. 3, n. 2^o, 2011.

Sidgwick, N. V. & Powell, H. M. **Stereochemical types and valency groups**. Proceedings of the Royal Institution, 176(965), 153-180, 1940.

Sidgwick, N. V. **The electronic theory of valence**. Oxford: Oxford University Press, 1927.

SILVA, M. F.; MONTEIRO, M. A. **Abordagens imagético-verbais relacionadas à balança elétrica de Coulomb em livros didáticos de Física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 32, n. 2, p. 320-350, 2015.

Sutton, M. **A forgotten triumph**. Chemistry World. Recuperado de <https://www.chemistryworld.com/feature/a-forgotten-triumph/3004463.article>, 2008.

TIPLER, P.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros: eletricidade e magnetismo**, óptica. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2. 550 p, 2006.

TOZONI-REIS, M. F. C. **Metodologia da Pesquisa**. 2. ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009.

VILLATE, J. E. **Eletricidade, Magnetismo e Circuitos**. 2^o. ed. Porto, Portugal: Edição do autor, p. 314, p. 314, 2015.

ZATERKA, L. **As teorias da matéria de Francis Bacon e Robert Boyle: forma, textura e atividade**. *Scientiae Studia*, v. 10, p. 681-709, 2012.

DE SOUZA MATOS, M. J.. **Estudo das interações de van der Waals no contexto da Teoria do Funcional da Densidade e aplicações em nanoestruturas**. 2009. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

VAN DER WAALS, J. D. **Over de Continuïteit van den Gas-en Vloeistofoestand**. *Sijthoff*, 1873.
THOMSON, J. J. **Cathode Rays**. *Philosophical Magazine*, v. 44, n. 269, p. 293-316, 1897.

RUTHERFORD, E. **The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom**. *Philosophical Magazine*, v. 21, n. 125, p. 669-688, 1911.

BOHR, N. **On the Constitution of Atoms and Molecules Part I**. *Philosophical Magazine*, v. 26, n. 151, 1-25, 1913.

SCHRÖDINGER, E. **Quantisierung als Eigenwertproblem**. *Annalen der Physik*, v. 79, n. 4, p. 361-376, 1926.

HEISENBERG, W. **Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik**. *Zeitschrift für Physik*, v. 43, n. 3-4, p. 172-198, 1927.

3.3 Artigo 3

**UMA ANÁLISE DOS CONCEITO DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES
DISCUTIDOS NOS LIVROS DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS
TECNOLOGIAS DO PNLD 2021**

Prelúdio aos artigos acerca dos materiais didáticos

A seguir, apresentaremos os artigos 3.3, 3.4 e 3.5, que se dedicam à investigação do conceito de Interações Intermoleculares em materiais didáticos. Esses artigos analisam diferentes fontes de conteúdo, a saber: os livros do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2021, os livros do Ensino Superior e as Obras Históricas. A pesquisa nesses materiais tem como objetivo mapear a abordagem desse conceito no contexto educacional, identificando como as Interações Intermoleculares são apresentadas e trabalhadas nesses diferentes tipos de materiais, com o intuito de entender como aparece em diversos contextos de ensino.

Introdução

O Livro Didático (LD) se encontra presente no contexto da educação brasileira desde o período imperial, onde era utilizado por aqueles que tinham acesso à educação (classes nobres) (Zacheue; Castro, 2015). Atualmente no Brasil é distribuído para todas as escolas públicas e regulamentado através do Programa Nacional do Livros Didático (PNLD). Estes livros vêm sendo analisados e organizados ao decorrer dos anos, e hoje são uma ferramenta de ensino e aprendizado consolidada nas escolas (Rocha; Farias, 2020).

Considerando a importância dos conceitos de Interações Intermoleculares para a Química, que permitem compreender as propriedades físico-químicas das substâncias (Zanon, 2018), torna-se pertinente investigar como esses conceitos são abordados nos LD, pois são materiais que circulam os espaços educacionais. Assim, as Interações Intermoleculares se relacionam com vários ramos na Química, tais como: Química Orgânica, Química Inorgânica, Físico-química, Química Analítica etc., como também está associado a outros campos das Ciências. A partir disso, podemos pensar na importância de o estudante compreender esses conceitos.

Neste interim, pensamos que conceitos químicos, como as Interações Intermoleculares podem ser de difícil compreensão para os estudantes, devido ao seu grau de complexidade (Pauletti, 2017). Neste sentido, é importante que os professores tenham suporte de ferramentas didáticas que ajudem a superar esses entraves, dentre essas ferramentas estão os LD disponibilizados aos professores. Frequentemente, os livros são as únicas ferramentas com discussões acerca de conceitos disponíveis nas escolas, diante disso, é importante que na medida do possível abordem os conceitos adequadamente tanto em termos didáticos quanto conceituais (Choppin, 2004).

A partir do contexto exposto, o objetivo deste trabalho foi de analisar como livros didáticos do PNLD 2021 utilizados no Ensino Médio discorrem sobre os conceitos de Interações Intermoleculares. Dessa forma, por meio de uma Análise de Conteúdo fundamentada nos princípios de Bardin, foi possível identificar distintas abordagens ao conceito em questão, conforme detalhado ao longo deste trabalho.

Uma breve reflexão acerca da noção de conceito e dos níveis de representação do conhecimento Químico

Uma vez que o enfoque desta análise se pauta na exploração a respeito de como é abordado o conceito de Interações Intermoleculares no contexto escolar, antes de discutir as categorias que emergiram da análise, é relevante destacar como compreendemos o termo *conceito*.

Com origem no Latim, *conceptus* (do verbo *concipere*), significando “coisa concebida” ou “formada na mente”, *conceito* remete a algo que foi pensado e estruturado por alguém, tendo relação com outros conceitos. Neste texto são as Interações Intermoleculares o objeto descrito e organizado como um *conceito*.

Ainda, salientamos que uma proposta amplamente aceita para a organização da Ciência Química e seus conceitos, está relacionada, no mínimo, em três níveis: o macroscópico, o representacional e o submicroscópico. Johnstone (2006) foi um dos primeiros pesquisadores a propor um modelo para explicar a relação entre esses níveis. Em sua abordagem, o nível macroscópico é caracterizado por aspectos palpáveis e observáveis; o submicroscópico, por elementos moleculares, átomos e partículas; e o simbólico, por representações abstratas como símbolos, equações e gráficos. Esses três níveis formam um triângulo conceitual conforme é possível observar na figura 2:

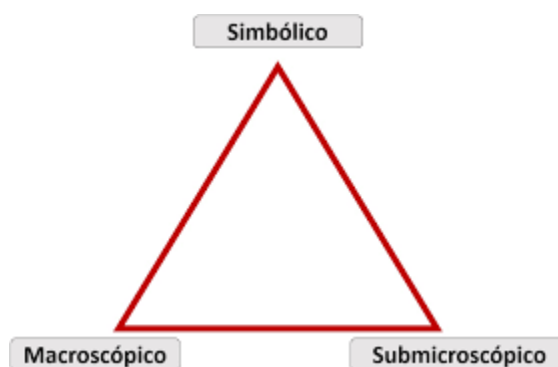


Figura 2: Johnstone, 2006, p. 59.

Johnstone argumenta que muitas das dificuldades enfrentadas na aprendizagem de Química decorrem do fato de que os processos de ensino geralmente se concentram em apenas dois níveis do triângulo (o macroscópico e o simbólico), negligenciando aspectos estruturais mais profundos relacionados ao nível submicroscópico. Além disso, é raro que os três níveis sejam utilizados de maneira

integrada, o que compromete a compreensão dos estudantes e dificulta a abstração necessária para compreender os conceitos químicos.

Essa perspectiva é particularmente relevante quando se considera o ensino de Interações Intermoleculares, um tema que exige a integração dos três níveis do triângulo de Johnstone para uma compreensão completa. No nível macroscópico, os estudantes observam propriedades físicas, como pontos de ebulição e solubilidade. No nível submicroscópico, é essencial explorar as forças de interação entre moléculas, como ligações de hidrogênio, forças de Van der Waals e interações dipolo-dipolo. Por fim, no nível simbólico, esses fenômenos são representados por equações químicas e diagramas estruturais. A falta de articulação entre esses níveis pode levar a concepções fragmentadas, limitando a compreensão do papel das Interações Intermoleculares na explicação de propriedades e da matéria.

Metodologia

Esta pesquisa tem um caráter qualitativo, uma vez que valoriza a subjetividade e visa um impacto na sociedade, com foco na interpretação de documentos (Ludke; André, 1986). Para tanto, realizamos uma análise de conteúdo com base na abordagem proposta por Bardin (1977), que implica em três momentos: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados.

Na pré-análise, a primeira etapa, consultamos o sumário e o índice remissivo e realizamos a leitura flutuante¹ para definir quais livros entravam no *corpus* de análise, iniciando a formulação das hipóteses e dos objetivos.

O objeto de estudo desta pesquisa são os livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do PNLD de 2021, referente ao primeiro edital de livros para o novo Ensino Médio. Para encontrar esses materiais foi consultado o guia digital PNLD 2021 de obras didáticas por áreas do conhecimento e especificidades, onde encontramos disponibilizadas 7 coleções, sendo cada coleção formada por 2 a 6 livros, contabilizando um total de 42 volumes, conforme figura 1 abaixo:

¹ “consiste em estabelecer contato com os documentos a analisar e em conhecer o texto deixando-se invadir por impressões e orientações” (BARDIN, 1977, p. 96).

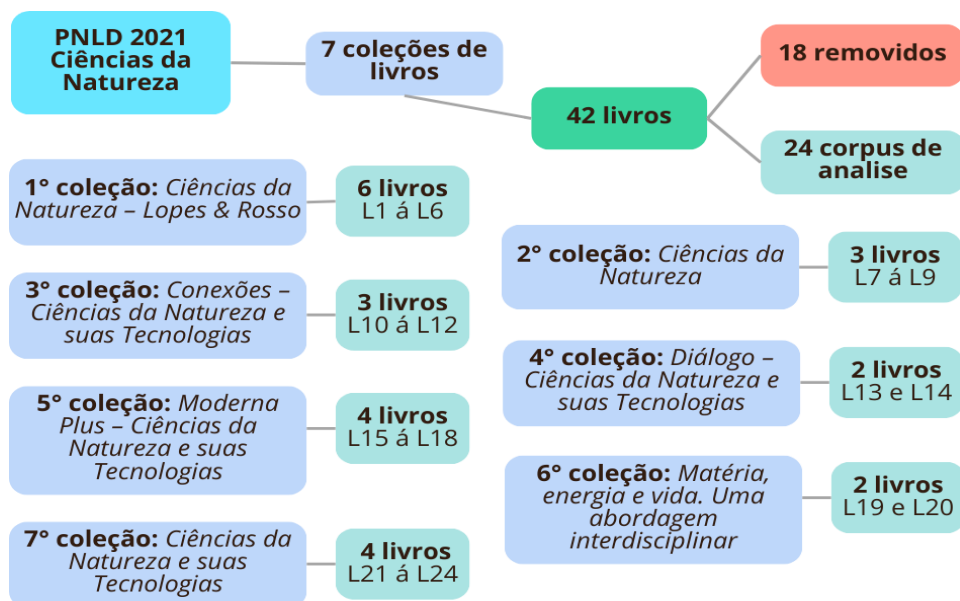


Figura 1: Sistematização sobre análise dos livros didáticos.

Fonte: própria.

A segunda etapa, exploração dos materiais, envolveu o desenvolvimento da operação de unitarização em que surgiram o total de 470 unidades. Estas unidades foram codificadas, sendo que “L” representa o livro analisado e “U” a unidade em discussão. Dessas unidades emergiram 3 categorias, sendo elas: I. Descrição do conceito; II. Aplicação do conceito; III. Representação do conceito.

A partir destas ações, verificamos que 24 livros exploravam o conceito de Interações Intermoleculares, sendo estes assumidos como o *corpus* final constituinte do presente texto e suas análises. Portanto, o último momento refere ao tratamento dos dados, em que os resultados são investigados para serem interpretados com significados, ou seja, desenvolver as reflexões e discussões em torno dos resultados encontrados nos momentos anteriores.

Resultados e discussões

I. Descrição do conceito

Esta categoria procura reunir as unidades que tratam dos conhecimentos químicos que descrevem o conceito em si e suas relações. Ou seja, se refere à explicitação e compreensão dos significados de termos, ideias ou fenômenos.

Assim, relacionamos as unidades que emergiram dessa categoria com o nível submicroscópico (Johnstone, 2006), que trata de descrever os elementos estruturais

que não podem ser observados diretamente, como átomos, moléculas, íons e as interações que ocorrem entre eles. Fornecendo a base explicativa e descritiva para os fenômenos vistos no nível macroscópico (que serão abordados posteriormente), como a ligação entre partículas que determina o estado físico ou as Interações Intermoleculares que explicam propriedades como tensão superficial e ponto de ebulição. A compreensão desse nível requer abstração e a capacidade de imaginar modelos que representam esses componentes invisíveis, tornando-o um dos maiores desafios no aprendizado da Química.

Diante do exposto, esta categoria identifica como os conceitos que permeiam as Interações Intermoleculares estão sendo descritos, e quais conhecimentos estão sendo mobilizados para explorar o conceito. Essa foi a categoria que mais apresentou unidades, totalizando 236, e todos os 24 livros do *corpus* apresentaram unidades referentes a ela. A primeira coleção se destacou, apresentando 72 unidades dessa categoria, enquanto a segunda coleção foi a que menos emergiu essa categoria, apresentando apenas 12 unidades.

De forma geral os livros propõem Interações Intermoleculares como algo "imprescindível" para formação das propriedades das substâncias, isso pode ser observado em unidades como: "caso não houvesse atração entre as moléculas, todas as substâncias moleculares seriam encontradas somente no estado gasoso" (L21U4). Essa afirmação evidencia a necessidade das Interações Intermoleculares para promover a coesão entre as moléculas e permitir a existência de substâncias nos estados líquido e sólido, ampliando assim a diversidade de materiais e suas aplicações. Isto foi possível perceber na unidade L15U11: "um dos fatores responsáveis pelas moléculas ficarem mais próximas nas fases sólida e líquida são interações de atração mútua entre elas, chamadas Interações (ou forças) Intermoleculares" (L15U11). Consideramos potentes unidades como essas em LD, pois permitem explorar a importância das Interações Intermoleculares não só para a existência dos diversos estados físicos da matéria, mas também indica implicitamente sua importância para a diversidade de materiais e suas aplicações práticas.

Ademais, a partir da descrição das interações, notamos que conceitos como os de polaridade e geometria molecular têm uma relação direta com as Interações Intermoleculares. Sendo assim, implica ao estudante ter domínio de outros conhecimentos para discussão do conceito de interesse, como se percebe em

L13U11: “as Interações Intermoleculares podem ser mais fracas ou mais fortes, dependendo principalmente de dois fatores: a geometria e a polaridade da molécula” e em:

O físico-químico holandês Johannes Diederik van der Waals (1837-1923) identificou que o comportamento das substâncias depende das forças de interação que acontecem entre as moléculas, nomeadas Interações Intermoleculares, e que estas dependem da polaridade de cada molécula (L7U2).

Portanto, esses trechos presentes nos livros didáticos indicam que ao entender a relação entre polaridade, geometria molecular e Interações Intermoleculares, os estudantes estarão mais bem equipados para compreender esses conceitos. Assim, devem ter esclarecidos não apenas as interações em si, mas também os princípios subjacentes que determinam sua natureza e intensidade. Visto a importância dessas relações, identificamos a fragilidade dos livros apenas citarem tais relações, mas não explorarem efetivamente esses conceitos junto às Interações Intermoleculares, e o aprofundamento que essas relações podem gerar.

Ainda, as interações que mais aparecem são as do tipo Interações dipolo permanente-dipolo permanente, Interações dipolo permanente-dipolo induzido e Interações dipolo induzido-dipolo induzido conforme é possível visualizar no Gráfico 1:

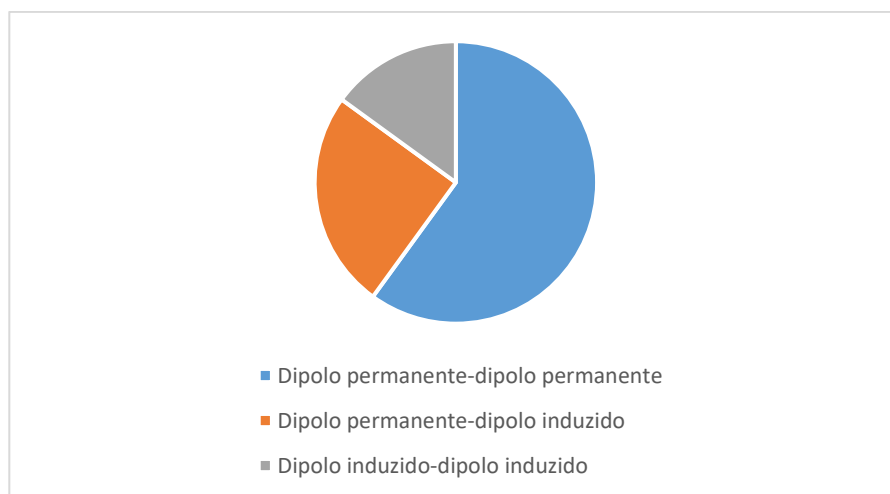


Gráfico 1: Quantificação das subcategorias que emergiram.

Fonte: própria.

Conforme o gráfico acima e as discussões anteriores, percebemos que os livros, dentro do que se propõem trabalhar na categoria de descrição do conceito de Interações Intermoleculares, são coerentes, ou seja, em todos os livros identificamos

trechos que exploram a descrição desse conceito. Ainda, fica evidente a inter-relação de outros conceitos que são fundamentais para a compreensão das Interações Intermoleculares. Após reconhecer a relevância de descrever o conceito de Interação Intermolecular em um nível submicroscópico, a próxima etapa consistirá em relacionar esses conceitos com suas aplicações no dia a dia. Isso implica em explorar como as interações entre moléculas influenciam fenômenos observáveis em nosso cotidiano, proporcionando uma compreensão mais profunda da importância prática desses conceitos.

II. Aplicação do conceito

Esta categoria emergiu das unidades que não descrevem o conceito (caso da primeira categoria), mas visam compreender num contexto de “aplicação”. Sendo assim, estas unidades estão relacionadas aos conceitos de Interações Intermoleculares como fenômenos macroscópicos presentes no dia a dia.

Associamos as discussões dessa categoria com o nível macroscópico (Johnstone, 2006), que se refere aos fenômenos e propriedades da Química que podem ser observados diretamente pelos sentidos ou por instrumentos básicos. Ele abrange aspectos como mudanças de estado físico, reações químicas visíveis, propriedades como densidade e solubilidade, e fenômenos perceptíveis, como a formação de bolhas ou a liberação de calor. Esse nível é frequentemente utilizado como ponto de partida no Ensino de Química, pois oferece uma conexão direta com a realidade cotidiana, sendo acessível e concreto para os estudantes.

Nesta categoria emergiram 169 unidades e todos os livros apresentaram unidades referente a ela. A primeira coleção foi o destaque, pois apresentou 42 unidades com 6 livros da coleção realizando a aplicação do conceito.

De forma a exemplificar essa categoria, dois livros apresentam a habilidade da lagartixa de movimentar-se na parede. Essas discussões não são exploradas de forma aprofundada, contudo, desempenham um papel estratégico ao estimular a curiosidade dos estudantes. A unidade L7U1 (Figura 3) representa a introdução ao tema de Interações Intermoleculares, chamando a atenção para esse fato.



Figura 3: Imagem ampliada de uma pata de lagartixa.

Fonte: L7U1.

Entretanto, essa aplicação foi retomada somente nos exercícios ao final do capítulo sobre Interações Intermoleculares. Apesar de sua relevância para a exemplificação do conteúdo, a abordagem carece de um aprofundamento que permita uma análise mais detalhada do fenômeno, ou seja, no aprofundamento da relação do exemplo explorado com os aspectos conceituais.

Um aspecto que se destacou, pela frequência com que foi observado, refere-se às unidades relacionadas à ligação de hidrogênio, nas quais foram identificadas expressivas associações com as propriedades da água, como afirma a L11U3: “as ligações de hidrogênio estão relacionadas às propriedades da água”. Essa associação foi tão recorrente que a unidade L19U23 enfatiza que “as ligações de hidrogênio não ocorrem apenas entre moléculas de água”, esta vinculação exacerbada pode influenciar o estudante a desenvolver uma concepção errônea, visto que outras aplicações são pouco ou nada trabalhadas.

Um exemplo que observamos bastante destas vinculações foi a relação com temas como coesão e adesão, vinculado com fenômenos como da capilaridade, formação de gotas, além de explicar por que alguns objetos e insetos podem ficar em cima da água, um exemplo a unidade L15U32 (Figura 4):



Figura 4: Clipe flutuando sobre a água.

Fonte:L152U32.

Embora os livros frequentemente abordem adesão e coesão em relação às ligações de hidrogênio, é importante reconhecer que fenômenos como a adsorção também podem envolver esses processos, mas não se limitam a eles. Focar exclusivamente nesse vínculo nos materiais educacionais pode levar a uma compreensão equivocada. Com isso, identificamos que as seções que enfatizam as ligações de hidrogênio podem inadvertidamente gerar uma discussão limitada. Esta lacuna decorre da tendência que observamos de os livros em certo ponto negligenciar outras formas de Interações Intermoleculares, o que compromete uma compreensão abrangente da aplicação desses conceitos.

A partir das unidades tratadas, evidenciamos que os materiais utilizam aspectos que exploram o cotidiano, pois fornecem exemplos práticos da Interação Intermolecular, permitindo assim identificar onde esse conceito se manifesta no dia a dia. Essa abordagem é valiosa, pois transcende a mera memorização, incentivando uma compreensão mais profunda. No entanto, é importante reconhecer as limitações desse método, visto que se concentra principalmente em analogias cotidianas que dialogam predominantemente com o nível macroscópico, negligenciando a discussão mais aprofundada sobre o fenômeno, nesse caso, relacionando as discussões que envolve o nível submicroscópico e simbólico o que poderia proporcionar um processo de contextualização efetivo (Rogers, 2001). Considerando a potência da mobilização dos aspectos macroscópicos, a seguir será abordada a categoria que destaca a importância de explorar o conceito de Interações Intermoleculares em relação aos aspectos envolvendo a representação Química.

III. Representação do conceito

Essa categoria emerge das unidades que surgiram na análise do *corpus* deste trabalho e estão relacionadas à representação. Ou seja, identifica como os livros apresentam os elementos da representação Química, com foco no simbólico, englobando expressões, modelos, gráficos e ilustrações.

O nível simbólico (Johnstone, 2006) consiste em explorar como representar essas interações utilizando símbolos químicos e fórmulas estruturais. Por exemplo, a formação de ligações de hidrogênio entre moléculas de água pode ser representada pela interação entre o hidrogênio parcialmente positivo de uma molécula de água e o oxigênio parcialmente negativo de outra molécula de água. Assim, esse nível possibilita que os estudantes interpretem e traduzam essas representações para relacioná-las aos níveis macroscópico e submicroscópico, tornando-se um elemento indispensável para a compreensão plena e integrada da Química.

Considerando a Química como uma Ciência complexa, torna-se evidente a necessidade da imaginação para assimilar os conceitos submicroscópicos. No entanto, destacamos a importância de uma representação adequada dos conceitos, a fim de influenciar uma compreensão adequada das interações.

Nessa categoria emergiram 65 unidades, onde 17 livros apresentaram unidades referente a esta categoria, a sétima coleção apresentou apenas 2 unidades, sendo assim, a coleção que menos explorou a representação.

Ao observar como os livros estão abordando o nível simbólico do conceito, notamos que o foco está nas moléculas e suas Interações Intermoleculares, apresentando figuras planas, conforme ilustrado na Figura 5. Essas representações são importantes porque conectam os níveis macroscópico e o submicroscópico. Ou seja, enquanto as moléculas e as interações ocorrem no nível submicroscópico, a ilustração apresentada está no nível macroscópico, criando um intermediário que facilita a assimilação do conceito (Ros, 2014).

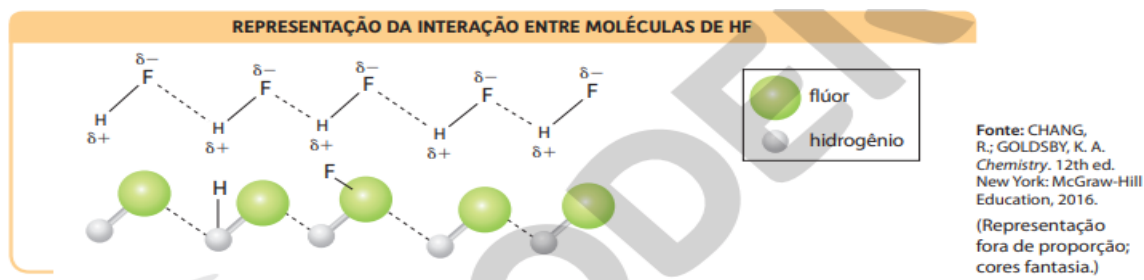


Figura 5: Representações da interação entre moléculas de HF

Fonte: L10U16

Ao examinar a simbologia na molécula, percebemos que os conceitos de densidade eletrônica (Figura 6) e propriedades físicas (Figura 7) também são representados nos livros, articulados com as Interações Intermoleculares. Esse processo é crucial, pois os livros relacionam as interações com o estado físico dos compostos e abordam o processo de formação, implicando na exploração de outros conceitos, como a densidade eletrônica. A representação dessas vertentes junto às Interações Intermoleculares auxilia o estudante na formação de seus modelos mentais, uma vez que, "não podemos imaginar um átomo sem passar por alguns dos modelos representacionais que correspondem ao nível simbólico" (Ros, 2014 p.13, tradução dos autores).

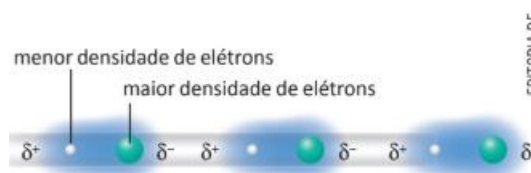


Figura 6: Organização da representação das moléculas de ácido clorídrico (HCl) em relação ao seu dipolo elétrico.

Fonte: L7U11.



Figura 7: Representação de um frasco de bromo no estado líquido e gasoso.

Fonte: L37U40.

Outra constatação que todos os livros trazem é a ênfase que esta simbologia é "fantasiosa", pois a cor e o tamanho são fora daquilo que se espera para o real (Figuras 6 e 7), pois "os objetos da Ciência não são os fenômenos da natureza, mas construções desenvolvidas pela comunidade científica para interpretar a natureza" (Driver, 1999, p. 32). Sendo assim, modelos que na maioria das vezes não correspondem com a realidade, mas são meios de realizar um processo de exemplificação.

Diante disso, observamos que os livros estão utilizando símbolos submicroscópicos e apresentando várias imagens para conectar com aplicações. De modo que a interpretação de gráficos, infográficos, articulação de ideias e esquemas não é abordada nos livros. Até mesmo as fórmulas moleculares recebem pouca ênfase em sua abordagem.

Os conteúdos químicos de natureza simbólica estão agrupados no aspecto representacional, que compreende informações inerentes à linguagem química, como fórmulas e equações químicas, representações dos modelos, gráficos e equações matemáticas (Mortimer; Machado; Romanelli, 2000, p. 277).

Podemos pensar que, ao focalizar exclusivamente na representação dos modelos, os estudantes são privados de desenvolver um senso crítico em relação às informações que podem ser apresentadas de outras maneiras, como interpretação de gráficos e fórmulas moleculares a respeito das interações entre moléculas.

Considerações finais

Considerando a relevância do tema de Interações Intermoleculares para compreensão dos fenômenos do dia a dia que transpassam a área da Química, é importante que os LD entregues às escolas de Ensino Médio tratem o tema com a relevância necessária. No entanto, a complexidade desse conceito, aliada à natureza abstrata da Química, pode representar desafios significativos para os estudantes.

Diante desse cenário, a análise dos LD do PNLD 2021 revelou diferentes abordagens em relação ao conceito de Interações Intermoleculares. Por meio da categorização das unidades analisadas, foi possível identificar aspectos importantes relacionados à descrição do conceito, sua aplicação no cotidiano e sua representação simbólica.

Na categoria de descrição do conceito, observamos uma consistência na abordagem das Interações Intermoleculares como elementos essenciais para a

coesão entre as moléculas e, conseqüentemente, para a existência dos diversos estados físicos da matéria. Contudo, destacamos a necessidade de uma abordagem mais abrangente, que não contemple com tanta ênfase às Ligações de Hidrogênio, mas também explorar outras formas de Interações Intermoleculares, como as interações dipolo permanente-dipolo induzido e dipolo induzido-dipolo induzido, abrangente uma definição mais completa.

A análise das unidades relacionadas à aplicação do conceito apresentou uma preocupação em estabelecer conexões entre as Interações Intermoleculares e fenômenos observáveis no dia a dia. Embora essa abordagem seja valiosa para exemplificar o conceito, é necessário reconhecer suas limitações e a necessidade de uma discussão mais aprofundada sobre o fenômeno em si.

Por fim, a categoria de representação do conceito destacou a importância de uma abordagem aprofundada das representações simbólicas no Ensino de Química. Embora os LD tenham utilizado imagens e ilustrações para representar as Interações Intermoleculares, observamos uma falta de ênfase na interpretação de gráficos, infográficos e fórmulas moleculares, o que pode dificultar o desenvolvimento do pensamento crítico por parte dos estudantes.

Com esse estudo, destacamos que se a abordagem se constituísse de forma integrada dos três níveis da Química (macroscópico, submicroscópico e simbólico) nos livros do PNLD contribuiria para uma compreensão mais completa e significativa dos conceitos químicos pelos estudantes. Nesse sentido, o nível macroscópico permite conectar os fenômenos químicos ao cotidiano, tornando-os mais acessíveis e relevantes; o nível submicroscópico fornece as explicações teóricas sobre as partículas e interações que fundamentam esses fenômenos; e o nível simbólico traduz essas ideias em representações abstratas que facilitam a sistematização e a comunicação do conhecimento. A integração desses níveis é essencial para superar as dificuldades de abstração inerentes ao Ensino de Química, promovendo uma aprendizagem mais equilibrada e alinhada com os objetivos educacionais do Novo Ensino Médio, que enfatizam a formação crítica, interdisciplinar e conectada à realidade dos estudantes.

REFERÊNCIAS

- BARDIN, L. Análise de conteúdo. **Lisboa: edições**, v. 70, p. 225, 1977.
- CHOPPIN, Alain. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Educação e pesquisa**, v. 30, p. 549-566, 2004.
- DAHLBERG, I. Fundamentos teórico-conceituais da classificação . **Revista de Biblioteconomia de Brasília, [S. l.]**, v. 6, n. 1, p. 9–21, 1978.
- DRIVER, R. *et al.* Construindo conhecimento científico na sala de aula. **Química nova na escola**, v. 9, n. 5, p. 31-40, 1999.
- JOHNSTONE, A. H. ***Chemical education research in Glasgow in perspective***. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 7, n. 2, p. 49-63, 2006
- LUDKE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. **A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos**. *Química Nova*, v. 23, p. 273-283, 2000.
- PAULETTI, F. **Entraves ao ensino de química: apontando meios para potencializar este ensino**. *Revista Areté| Revista Amazônica de Ensino de Ciências*, v. 5, n. 8, p. 98-107, 2017.
- ROCHA, C. J. T.; FARIAS, S. A. **A importância do livro didático na integralização e aulas de Química em escola pública**. *EDUCA-Revista Multidisciplinar em Educação*, v. 7, n. 17, p. 1547-1560, 2020.
- ROGERS, C. **Tornar-se pessoa**. Tradução de Ferreira, M. J. C. e Lamparelli, A. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.
- ROS, A. C. ***La estructura conceptual de la química: realidad, conceptos y representaciones simbólicas***. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, n. 78, p. 7-20, 2014.
- ZACHEU, A. A. P.; CASTRO, L. **Dos tempos imperiais ao PNLD: a problemática do livro didático no Brasil**. *JORNADA DO NÚCLEO DE ENSINO DE MARÍLIA*, v. 14, p. 1-12, 2015.
- ZANON, V. S. **O livro didático, o currículo mínimo estadual e o ENEM: uma análise sobre interações intermoleculares**. 2018.

3.4 Artigo 4

ANÁLISE DE LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO SUPERIOR DE QUÍMICA: UM OLHAR ACERCA DAS INTERAÇÕES INTERMOLECULARES

Introdução

O ensino e o aprendizado de conceitos científicos têm se revelado como um desafio significativo para professores e estudantes, representando uma das questões mais mobilizadoras no contexto do Ensino de Ciências/Ensino de Química (Monteiro; Silva; Rossler, 2016). No rol dos conceitos que abrangem a Química, destacam-se as Interações Intermoleculares, que podem ser consideradas como um dos pilares centrais e estruturais dessa área de estudo. Isso ocorre devido a sua capacidade de possibilitar a explicação e compreensão da natureza da matéria, suas transformações e propriedades, aspectos que definem a própria Ciência Química (Pereira, 2010).

A relevância das Interações Intermoleculares na Química, em seus diferentes desdobramentos, se faz presente em diversas situações. Para além do contexto da Educação Básica, onde segundo Junqueira (2017) o tema é abordado de forma superficial, mesmo assim justificando sua importância ao destacar principalmente as relações entre o conceito e as propriedades físicas, essas Interações desempenham um papel significativo em distintos ramos da Ciência Química.

Ainda, pensando no Ensino de Química os Livros Didáticos (LDs) são relevantes na educação, sendo considerados recursos fundamentais que ajudam tanto os professores quanto os estudantes no processo de ensino e aprendizagem da Química (Lopes, 1994). Sendo assim, salientamos que os LDs de Ensino Superior podem contribuir ao fornecer uma fonte de conhecimento estruturado e sistemático, servindo como referência essencial para estudantes e apoio pedagógico para professores. Assim, o material didático, por sua vez, engloba todos os recursos utilizados de maneira sistemática e metódica ao longo do processo educacional (Lajolo, 2008). Portanto, neste contexto, consideramos os LDs analisados como materiais com propósitos educacionais.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar como os LDs empregados no Ensino Superior de Química abordam o conceito de Interações Intermoleculares. Diante do exposto, ao empregarmos a análise de conteúdo de Bardin (1977), observamos uma variedade de definições associadas a esse conceito.

Metodologia

Este estudo adota uma metodologia qualitativa, caracterizada pela busca de uma compreensão aprofundada dos fenômenos investigados, considerando seu

contexto e significado. De acordo com Ludke; André (1986), essa abordagem permite uma análise mais rica e detalhada dos dados, favorecendo a interpretação das relações e processos subjacentes para investigar como os LDs de graduação abordam as Interações Intermoleculares.

Para tal fim, foi solicitada à Biblioteca do Campus Capão do Leão (BCCL) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) uma lista dos livros mais frequentemente retirados, visto que esta atende a todos os cursos de Química da instituição e sua escolha se justifica pela proximidade geográfica do grupo de pesquisa. A seleção dos LDs foi realizada com base nessa lista, optando pelos dois livros mais retirados em cada área específica da Química (Química Analítica, Química Inorgânica, Físico-química, Química Orgânica e Bioquímica). Além das áreas específicas, também foram selecionados livros com foco na Química Geral, para a qual foram selecionados cinco livros, sendo que dois deles foram analisados volumes 1 e 2, dada sua abrangência de conceitos, totalizando 17 obras analisadas abrangendo as áreas de Química Geral, Química Analítica, Química Inorgânica, Química Orgânica, Físico-Química e Bioquímica. Entretanto ao realizar uma análise preliminar de cada livro a partir do índice remissivo, desse modo, 9 LDs foram excluídos da análise por não apresentarem os conceitos buscados, resultando em um total de oito LDs considerados na análise.

Posterior à seleção dos materiais que compõem o *corpus*, realizamos a investigação por meio de uma análise de conteúdo com base em Bardin (1977), a qual sugere que seja desenvolvida em três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados.

Diante do exposto, para investigar a presença do conceito de interesse nos LDs, começamos primeiramente pela pré-análise, como bem descreve Bardin (1977), logo nesse primeiro momento os LDs foram examinados pelo sumário e índice remissivo, assim realizamos uma leitura “flutuante”, ou seja, o primeiro contato com os documentos selecionados, seus critérios de escolha, a formulação dos objetivos e a organização do material. Como resultado desse processo, foram identificados oito livros para o corpus de análise, conforme apresentado no e Quadro 1:

Quadro 1: Identificação dos livros do corpus de análise

Código	Livro	Área de discussão
L1	ATKINS, P; JONES, L; LAVERMAN, L. Princípios de	Química geral

	química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7. Porto Alegre: ArtMed, 2018.	
L2	BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. Química: a ciência central. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.	Química geral
L3	CHANG, R. Química geral: conceitos essenciais. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.	Química geral
L4	RUSSELL, J. Química geral. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2009.	Química geral
L5	ATKINS, Peter; DE PAULA, Julio. Físico-química. 1. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.	Físico-Química
L6	ATKINS, P.; DE PAULA, J. Físico-química. 2. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.	Físico-Química
L7	McMURRY, J. Química orgânica. 1. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.	Química Orgânica
L8	BENVENUTTI, E. V. Química inorgânica: átomos, moléculas, líquidos e sólidos. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.	Química inorgânica

Fonte: Própria

Posteriormente, na etapa de exploração do material, realizamos a construção das unidades (onde “L” representa o livro analisado e “U” a unidade em discussão) e categorias, resultando nas seguintes categorias: I. *Definição do Conceito*; II. *Representação do Conceito*; III. *Aplicação do Conceito*; IV. *Abordagem Histórica*. Na última fase, o tratamento dos dados envolveu o desenvolvimento de reflexões e discussões consideradas necessárias para compreender as implicações dos LDs no processo de ensino e aprendizagem do conceito de Interações Intermoleculares. Essas reflexões serão apresentadas na seção subsequente.

Resultados e discussões

Iniciamos esta seção destacando que adotamos a concepção de conceito com base nas ideias de Abbagnano (2007, p. 164), para quem “conceito” é entendido como “todo processo que possibilita a descrição, classificação e previsão dos objetos cognoscíveis”. Considerando que a Química é uma Ciência de natureza complexa, torna-se essencial a definição e a utilização de diversas abordagens para compreender um fenômeno químico.

Assim, apresentaremos de forma sistematizada os resultados e discussões obtidos da investigação nas diferentes categorias emergentes. Para dados

quantitativos, apresentaremos alguns resultados numericamente, conforme pode ser observado no Figura 1:

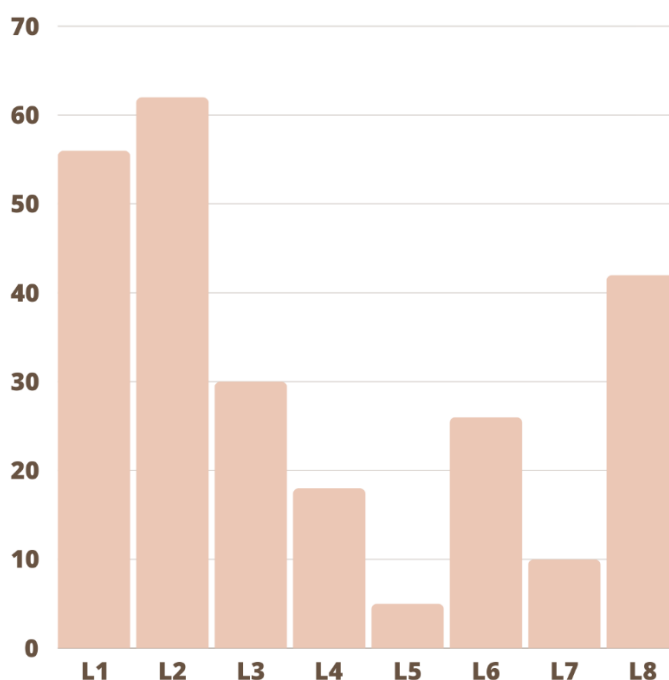


Figura 1: Relação entre as unidades total que emergiram em cada livro

Fonte: própria.

O total de unidades do corpus de análise foi de 249. No processo de categorização, 216 unidades pertencem ao grupo de Definição do Conceito, enquanto 12 foram classificadas como Representação do Conceito. Além disso, 69 unidades foram identificadas como Aplicação do Conceito, e apenas 10 foram incluídas na categoria de Abordagem Histórica.

1) Definição do Conceito

Essa categoria surge a partir das unidades que buscam proporcionar definições do conteúdo em foco, ou seja, as Interações Intermoleculares. Destacamos que todos os LDs que compõem nosso conjunto de análise apresentam essa categoria como a mais evidente. Conforme sugere o próprio nome, trata-se, de fato, de uma definição, fundamentada no princípio de expressar para descrever ou determinar algo.

Considerando a questão apresentada acima, Abbagnano (1984) discute que as definições do conceito podem ser entendidas como:

Todo processo que torne possível a descrição, a classificação e a previsão dos objetos cognoscíveis. Assim entendido, esse termo tem significado generalíssimo e pode incluir qualquer espécie de sinal ou procedimento semântico, seja qual for o objeto a que se refere, abstrato ou concreto,

próximo ou distante, universal ou individual etc. [...] Embora o conceito seja normalmente indicado por um nome não é o nome, já que diferentes nomes podem exprimir o mesmo conceito ou diferentes conceitos podem ser indicados, por equívoco, pelo mesmo nome (Abbagnano, 1984, p. 164).

Sendo assim, esta categoria procura reunir as unidades que tratam de conhecimentos químicos, unidades que descrevem a definição do conceito em si e suas relações. Ou seja, se refere à explicitação e compreensão dos significados de termos, ideias ou fenômenos.

Identificamos comumente os LDs apresentarem um capítulo específico dedicado ao tema das Interações Intermoleculares, em que há uma abordagem classificatória, a qual são classificadas cada tipo de interação, desse modo, não havendo contextualizações e descrições mais aprofundadas e discutidas a respeito dos conceitos de Interações Intermoleculares, como é possível identificar em trechos como em L8U7 “essas interações envolvem apenas átomos e moléculas e podem ser subdivididas em três tipos: a) dipolo-dipolo b) dipolo-dipolo induzido e; c) dipolo instantâneo - dipolo induzido” e vários outros trechos que similares a esse.

Ao evidenciar essas unidades e modo que abordam os conceitos de Interações Intermoleculares sendo por meio de classificações (em tipos e intensidade), foi possível identificarmos indícios de que a maneira como os livros trabalham as definições das Interações Intermoleculares apresentam fragilidades que podem contribuir para que os estudantes desenvolvam um entendimento errôneo sobre como as interações estão presentes na formação de uma substância. Para exemplificar esse dado, as unidades acima apresentam essas evidências, ou seja, não apresentam de forma clara como reconhecer que diferentes tipos de interação atuam no mesmo sistema de forma simultânea, pois trata cada interação individualmente e estabelece uma linearidade crescente da força de interação que cada uma apresentada. Em vista disso, para argumentar esse pensamento Seribeli; Maximiano (2022, p. 267) enfatizam:

visto que a maioria dos materiais de ensino enfatiza o tipo de interação principal, por exemplo, a interação dipolo-dipolo entre moléculas de HCl, são mais destacadas que as interações dipolo-dipolo induzidas e dipolo induzido-dipolo induzido também presentes.

Ainda, notamos uma forte correlação com outros conceitos abordados nos materiais, tais como os estados físicos da matéria (L3U1), a polaridade (L4U15) e a

polarizabilidade (L2U39), geometria molecular (L1U41) e atração eletrostática (L7U4), como podemos observar em trechos de exemplo do Quadro 2:

Quadro 2: Apresentação das unidades em discussão

Código	Unidade
L3U1	“Sem as forças intermoleculares, os gases não poderiam condensar para formar líquidos”
L7U4	“As forças podem ser atrativas ou repulsivas dependendo da orientação das moléculas-atrativas quando cargas diferentes estão próximas e repulsivas quando cargas semelhantes estão próximas”
L4U15	“A polaridade momentânea do primeiro átomo induz uma polaridade momentânea similar no segundo átomo, e o resultado é uma fraca atração entre os átomos”
L2U39	“Quanto maior a polarizabilidade de uma molécula, mais facilmente sua nuvem eletrônica será distorcida para dar um dipolo momentâneo. Dessa forma, moléculas mais polarizáveis têm forças de dispersão de London mais fortes”
L1U41	“A eficácia das interações de London também depende da forma das moléculas”

Fonte: própria.

Considerando essas unidades, percebemos que os LDs frequentemente enfatizam e discutem as definições dos conceitos de Interações Intermoleculares por meio de suas relações com outros conceitos químicos. Por exemplo, a atração eletrostática e o estado físico da matéria são abordados com maior ênfase, sendo que cada uma dessas relações é representada por 57 e 27 unidades, respectivamente. Em contraste, as conexões com polarizabilidade, polaridade e geometria molecular são mencionadas em 11, 10 e 3 unidades, respectivamente. Desse modo, salientamos a importância de explorar a estrutura molecular e as propriedades moleculares de maneira abrangente, visando construir uma compreensão correta e profunda dos conceitos de geometria molecular, distribuição de cargas da molécula, nuvem eletrônica, polaridade e polarizabilidade, por exemplo.

Neste caso, assumimos como algo relevante entender como esses conceitos se inter-relacionam e dependem uns dos outros para uma compreensão potente das definições e conceitos das Interações Intermoleculares. Portanto, destacamos a potência nos livros abordarem de forma equitativa os diversos conceitos que permeiam as Interações Intermoleculares, garantindo que os estudantes adquiram uma compreensão abrangente e sólida desses temas.

Em vista disso, os livros apresentam classificações e definições que limitam o entendimento da identificação das interações que podem estar presentes nas substâncias, além de não apresentar conceitos que são importantes para o

entendimento dos tipos de interação. Assim, limitando um entendimento mais aprofundado sobre o conceito, ou até mesmo influenciando os estudantes a desenvolverem ideias equivocadas sobre a identificação e aplicação das Interações Intermoleculares ou dos tipos de interação.

Após reconhecermos trechos que evidenciam como o conceito de Interação Intermolecular são apresentadas no nível submicroscópico, a próxima categoria estabelece conexões com as representações deste conceito abstrato. Este processo implica em investigar de que forma as interações e conceitos relacionados estão sendo demonstrado através de simbologias. Ao fazer isso, podemos alcançar uma compreensão mais profunda da relevância e utilidade destes códigos para compreensão dos conceitos de Interações Intermoleculares.

II) Representação do conceito

Em relação a essa categoria, ela emergiu devido à presença de representações dos conceitos de Interações Intermoleculares nos LDs analisados, como símbolos, fórmulas, equações, manipulação matemática e gráficos. Para aprofundar nessa discussão, baseamo-nos em Mortimer, Machado e Romanelli (2000), que destacam a importância do nível representacional na compreensão dos conceitos científicos. Esses autores apontam que o nível representacional se distingue em alguns aspectos, incluindo a relação com experiências cotidianas e dados experimentais. Uma problemática nos LDs do Ensino de Química é o foco predominante nos aspectos representacionais, frequentemente evidenciado pela grande utilização do quadro negro pelos professores, em comparação aos outros níveis de conhecimento, como a relação com fenômenos cotidianos (Mortimer; Machado; Romanelli, 2000). Mortimer, Machado e Romanelli (2000) discutem essa questão, ressaltando a importância de abordar os conceitos científicos de forma integrada, tanto nos aspectos representacionais quanto nos contextos cotidianos, conforme é possível observar em:

A produção de conhecimento em Química resulta sempre de uma dialética entre teoria e experimento, pensamento e realidade. Mesmo porque não existe uma atividade experimental sem uma possibilidade de interpretação (Mortimer, Machado e Romanelli 2000, p. 277).

Em vista disso, o nível representacional sendo abordado dialeticamente pode trazer consigo contribuições e qualificações para o aprendizado dos estudantes fornecendo as ferramentas, principalmente por meio de símbolos para representar a compreensão desses processos de idas e vindas entre teoria e experimento. Dessa

forma, a representação de átomos, íons, moléculas e outras espécies químicas pode contribuir para o processo educacional. Neste viés, no decorrer das análises nos livros didáticos evidenciamos essas relações em que há do nível representacional, além disso, os livros realizaram as articulações entre os diferentes níveis de conhecimento da Química, logo, 12 unidades foram extraídas e formuladas no processo de análise em cada livro didático, destacando que o nível representacional desempenha um papel importante ao articular os outros dois níveis.

A partir das discussões que embasam essa categoria, observamos que alguns livros incluíram elementos de representação, como exemplificado em L7U9:

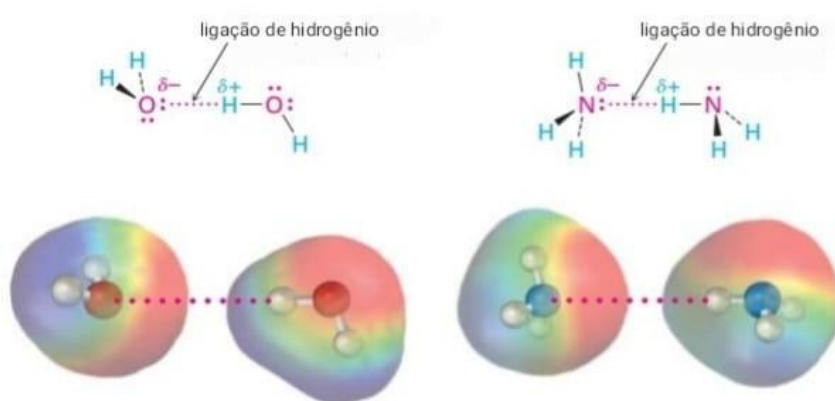


Figura 2: modelo de representação de moléculas (L7U9).

Fonte: McMurry, 2013 p. 58.

A Figura 2 exemplifica o comportamento das Interações Intermoleculares nas moléculas, apresentando-o por meio da representação de Lewis. Nessa representação, os elétrons são indicados por pontos, as ligações são representadas por traços e os elementos químicos são identificados pelas respectivas letras, com ênfase nas possíveis manifestações das interações entre as moléculas. Em seguida, são exibidas moléculas tridimensionais, destacando bolas de diferentes cores no centro para representar elementos, com ligações entre elas. As nuvens ao redor simbolizam a densidade de elétrons, sendo que tons mais próximos ao vermelho indicam maior densidade de elétrons, enquanto tons mais próximos ao azul indicam menor quantidade.

Essa representação visual pode potencializar o entendimento acerca do conceito, pois representa a molécula de uma forma ilustrativa, como por exemplo a utilização de cores na nuvem eletrônica, em que, demonstra as possíveis Interações

Intermoleculares. Desse modo, integra outros sentidos na compreensão da Química, como a visão e o uso de cores distintas para indicar a densidade de elétrons. Essa imagem também incorpora elementos da representação de Lewis, porém, apresenta limitações devido à sua natureza estática, indicando que não há movimento das entidades que compõem a molécula.

Em uma seção específica sobre o tema, ao tratar da formação de fases condensadas, o livro de Atkins e Jones (2012) utiliza um gráfico (Figura 3) para ilustrar a dependência da energia potencial em relação à distância nas Interações Intermoleculares:

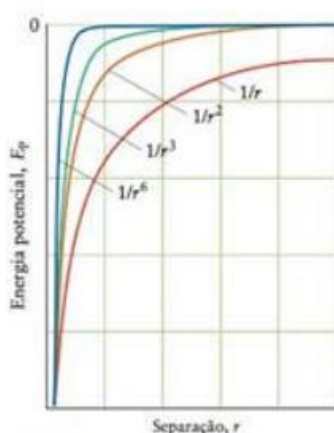


FIGURA 5.3 Dependência da energia potencial da interação entre íons (vermelho, linha mais baixa), íons e dipolos (marrom), dipolos estacionários (verde) e dipolos em rotação (azul, linha mais alta) com a distância.

Figura 3: o gráfico da relação da energia potencial vs separação (L1U15).

Fonte: Atkins e Jones (2012, p. 172).

Nesta figura, em contraste com a Figura 2, o conceito é representado de forma matemática. Cada curva descreve a variação da energia potencial em função da distância entre as partículas. Observa-se que a influência da distância torna-se menos significativa à medida que as cargas envolvidas na interação aumentam, enquanto essa influência se intensifica conforme a magnitude das cargas diminui. É necessário que as partículas estejam mais próximas para que a interação entre elas seja efetiva. Além disso, com esta figura, percebemos indícios que os autores propõem uma pluralidade nas representações.

Visto os argumentos e descrições que realizamos, apontamos que as representações ao serem empregadas potencializam discussões para o ambiente

visual, facilitando as análises, a imaginação e assimilação, conforme enfatizado por Wartha e Rezende (2011, p. 288):

é possível apresentar com clareza peculiaridades e propriedades inerentes aos processos relativos a interações dinâmicas no nível de partículas subatômicas como, por exemplo, a movimentação relativa entre as partículas devido a colisões intermoleculares e a própria temperatura.

Evidenciamos que nessas unidades, a principal representação está relacionada com a matematização, como gráficos e equações (totalizando 8 unidades desta categoria). Dessa forma, com base na descrição do conteúdo apresentado nessas unidades, é possível associá-lo à zona filosófica do Racionalismo Clássico do Perfil Epistemológico proposto por Bachelard (1991).

A zona clássica privilegia a racionalidade formal, a abstração e a dedução como formas de construção do conhecimento, características que são evidentes na escolha de representações matemáticas para explicar conceitos químicos. Nesse contexto, gráficos e equações não apenas sintetizam informações de maneira objetiva, mas também permitem a previsão de comportamentos químicos e a análise de relações entre variáveis. Assim, essas unidades demonstram um alinhamento claro com a racionalidade científica clássica, que busca na matematização a essência explicativa dos fenômenos naturais.

Ademais, consideramos que a representação como objetivo central demonstrar com clareza um conceito, explore uma variedade de representações para potencializar a compreensão dos estudantes, assim como o processo de matematização. (Mortimer; Machado; Romanelli, 2000).

Dessa forma, observando os exemplos citados, torna-se pertinente equilibrar a utilização efetiva de representações, pois estes possibilitam o fornecimento de uma visualização mais tangível e intuitiva dos fenômenos químicos. Ao incorporar diferentes tipos de modelos, como representações tridimensionais e diagramas, neste caso os estudantes podem desenvolver uma compreensão mais profunda e holística. Assim, ao evidenciar esse nível representacional entendemos que há eficácias no modo de descrever o conceito de Interações Intermoleculares, não tendo um enfoque em somente um nível representacional, bem como em descrições, mas estas representações que abordamos nessa categoria, demonstra que os autores estão proporcionando uma maior relação do conceito em si com representações visíveis e claras para qualificar os aprendizados dos estudantes.

Após abordarmos a categoria de Representação do Conceito, que analisa as simbologias, passaremos a discutir a categoria de Aplicação do Conceito. Esta categoria concentra-se em apresentar as unidades em que os LDs evidenciam a aplicação do conceito em questão, seja no cotidiano dos estudantes ou na explicação de outros conceitos. Essas relações também contribuem para tornar o ensino mais qualificado e visível para os estudantes, dessa forma, propicia uma experiência sensorial, assim como na representação.

III) Aplicação do conceito

Para ilustrar o conceito de aplicação, nos baseamos em Rocha e Farias (2013) e Santos e Santos (2021) a qual tem como intuito de caracterizar as unidades por meio da utilização experimentação, gráficos e figuras para compreender os comportamentos de moléculas, de modo, permitindo classificar, determinar, explicar e observar uma molécula ou substância. Nesse sentido, para argumentar e discutir as concepções dessa categoria, fazemos referência ao tetraedro de Sjöström e Talanquer (2014), onde as discussões sobre aplicação dos conceitos se assemelham. O primeiro nível desse tetraedro diz respeito à química aplicada, caracterizando-se por "introduzir o elemento humano, concentrando-se em questões da vida cotidiana e nas diferentes aplicações da química" (Sjöström; Talanquer, 2014, p. 1126). Ou seja, essa abordagem Química destaca o cotidiano e a experiência do mundo real.

Ainda, enfatizamos que os LDs adotam uma abordagem semelhante à proposta pela química aplicada de Sjöström (2013), focando principalmente na aplicação do conceito em contextos específicos, mas nos casos observados apenas visam a aplicação do conceito no contexto, sem desenvolver a reflexão e criticidade no estudante, sendo assim, estas unidades são atreladas ao cotidiano para exemplificação ou um argumento raso para justificar seu ensinamento.

Portanto, essa categoria emergiu das unidades que destacam situações em que o conceito de Interações Intermoleculares pode ser aplicado. Considerando as ideias de Sjöström, ao examinar a unidade L1U50, podemos caracterizá-la como uma aplicação, uma vez que aborda:

As ligações hidrogênio têm papel vital na manutenção da forma das moléculas biológicas. A forma de uma molécula de proteína é governada principalmente por ligações hidrogênio. Quando essas ligações se quebram, a molécula de proteína, com sua organização delicada, perde a função. Quando cozinhamos um ovo, por exemplo, a albumina da clara torna-se branca como o leite, porque o calor quebra as ligações hidrogênio entre suas moléculas, que se desmancham

em um arranjo irregular. As árvores se mantêm eretas por ligações hidrogênio. As moléculas de celulose (que têm muitos grupos OH) podem formar muitas ligações hidrogênio umas com as outras, e a resistência da madeira deve-se em grande parte às interações de ligações hidrogênio entre moléculas vizinhas de celulose que se enrolam como fitas. As ligações hidrogênio mantêm juntas as duas cadeias das moléculas de DNA e são essenciais para o entendimento do processo de reprodução. As ligações hidrogênio são suficientemente fortes para manter juntas as duas hélices do DNA, mas sua energia é muito menor do que as ligações covalentes típicas e elas podem ser desfeitas durante o processo da divisão celular sem afetar as ligações covalentes do DNA (L1U50).

Nesta unidade, observa-se a presença de quatro exemplos distintos, todos centrados em uma perspectiva cotidiana, evidenciando o foco principal na interseção entre a química e o ser humano. Dessa forma, observa-se uma Química aplicada ao contexto de estudantes e professores, conforme descrito por Sjöström e Talanquer (2014), ao abordar a relação da Química com aspectos práticos e cotidianos. Ao introduzir o elemento humano, essa abordagem promove uma compreensão mais aprofundada e facilita a visualização dos conceitos de Interações Intermoleculares. Os livros buscam com ênfase a relação entre os trechos que aplicam as interações e o estado físico da matéria, como no exemplo da unidade L2U58 “As forças intermoleculares que acabamos de abordar podem nos ajudar a entender muitas propriedades familiares de líquidos e sólidos”. Além de utilizar a aplicação para destacar aspectos para compreender as Interações Intermoleculares, um exemplo é a unidade L1U8 “sem as forças entre as moléculas, nossa carne se separaria dos ossos e os oceanos virariam gás”.

Em linhas gerais, podemos notar que as unidades dessa categoria se dividem em três grupos, cada um com uma abordagem distinta em relação ao conceito das Interações Intermoleculares. O primeiro grupo compreende as unidades que exploram a aplicação do conceito no cotidiano, demonstrando sua relevância prática em fenômenos observáveis no dia a dia. Um exemplo claro dessa abordagem é L1U50, que destaca como as Interações Intermoleculares influenciam propriedades e comportamentos de substâncias em diferentes contextos, como na solubilidade de compostos, na formação de gotículas de água ou até na aderência de superfícies. Esse enfoque favorece uma conexão direta com a experiência dos estudantes, facilitando a compreensão e o interesse pelo tema.

O segundo grupo reúne as unidades que enfatizam a relação das Interações Intermoleculares com outros conceitos químicos, especialmente aqueles associados às propriedades físicas da matéria. A unidade L2U58 exemplifica essa abordagem ao

estabelecer conexões entre as Interações Intermoleculares e aspectos como ponto de ebulição, viscosidade e tensão superficial. Esse grupo apresenta o conceito em uma perspectiva mais integrada ao conhecimento químico, permitindo que os estudantes percebam as Interações Intermoleculares como um fator determinante para diversas características dos materiais.

Por fim, o terceiro grupo engloba as unidades que apenas destacam a importância do estudo das Interações Intermoleculares, sem aprofundar diretamente suas aplicações ou conexões com outros conceitos. A unidade L1U8 é um exemplo disso, concentrando-se em justificar por que o tema deve ser estudado, sem necessariamente apresentar implicações concretas ou relacioná-lo a outros conhecimentos. Essa abordagem, embora reforce a relevância do tema, pode se tornar mais abstrata e menos atrativa para os estudantes caso não seja complementada por exemplos práticos e conexões conceituais mais amplas.

Nesta categoria, observamos que o conceito abordado nos LDs está relacionado a alguns fenômenos do dia a dia. Na próxima seção, abordaremos a construção histórica do conceito de Interações Intermoleculares, buscando relatar alguns fatos históricos que contribuíram para sua elaboração.

IV) Abordagem histórica

Esta está relacionada com uma explicação dos conceitos por meio de eventos históricos, que ajudam e contribuem a elucidar a formação dos conhecimentos atualmente descritos nos LDs, deste modo, proporciona um potencial para promover as concepções da natureza da Ciência. Ressaltamos que nessa categoria há uma utilização de artigos, documentos, artefatos e eventos dos autores que subsidiam as discussões sobre esses conceitos de Interações Intermoleculares (Moura, 2014).

Conforme destacado por Melo; Rocha (2017, p. 71), “percebe-se então a necessidade da reflexão sobre o próprio conceito do que é a Ciência, por quem e como é construída”, uma vez que as informações científicas são frequentemente apresentadas como verdades absolutas. Ainda, a História da Ciência (HC) pode ser uma importante aliada para o Ensino de Química, visto que contribui para a humanização da Ciência, rompendo a visão simplista, além de contribuir na compreensão dos conceitos (Oki; Moradillo, 2018). Portanto, como uma ferramenta importante no Ensino de Química, pois possibilita a abordagem de aspectos de uma

Ciência humanizada, além de trazer debate socioculturais para a sala de aula, contribuindo para que os conceitos químicos sejam mais significativos no processo de aprendizado.

Assim, o enfoque em abordagens históricas para descrever os conceitos favorece aos estudantes desenvolver habilidades críticas de análise e interpretação ao relacionar e visualizar os percursos e avanços desenvolvidos pelos cientistas a respeito do conceito estudo.

Durante nossa análise, observamos que nos livros apenas 4% de todas as unidades das categorias se referem à Abordagem Histórica. Dentro dessas unidades, identificamos dois enfoques distintos. Um deles reitera uma visão simplificada da ciência, focando em nomes e datas sem contexto. O outro enfoque destaca as contribuições dos cientistas para a trajetória acadêmica e profissional.

No primeiro caso, algumas dessas unidades simplesmente mencionam o cientista responsável por propor o tipo de interação, sua nacionalidade e o ano em que foi apresentado. Por exemplo, a unidade L1U44 trata das Interações Intermoleculares, mencionando: “As Interações Intermoleculares que dependem do inverso da sexta potência da distância são conhecidas coletivamente como interações de van der Waals, para honrar o cientista holandês Johannes van der Waals, que as estudou profundamente”. Essas informações restringem a discussão, focalizando apenas na identificação do nome do cientista, sem estabelecer conexões com o contexto histórico em que o conhecimento foi proposto ou suas implicações.

Contudo, unidades que se assemelham a essas não alcançam um maior potencial que a Abordagem Histórica possibilita explorar, pois os elementos apresentados são restritos. Portanto, tais unidades não estabelecem uma conexão com o contexto em que esses cientistas propuseram as interações, nem com os conceitos pré-existentes que os auxiliaram na formulação de suas teorias. Ressaltamos que tais informações podem ter um impacto direto no processo de aprendizado.

Por outro lado, um dos materiais didáticos examinados apresentou três seções que oferecem mais detalhes sobre a vida dos cientistas. Como um exemplo temos a Figura 4 destaca a trajetória de Johannes Diderik van der Waals, o cientista creditado por propor as Interação Intermoleculares. O trecho aborda tanto aspectos da vida acadêmica quanto profissional de van der Waals e inclui uma imagem do cientista. No

entanto, embora forneça informações gerais sobre sua carreira, esta seção não explora a história dos conceitos de Interações Intermoleculares.

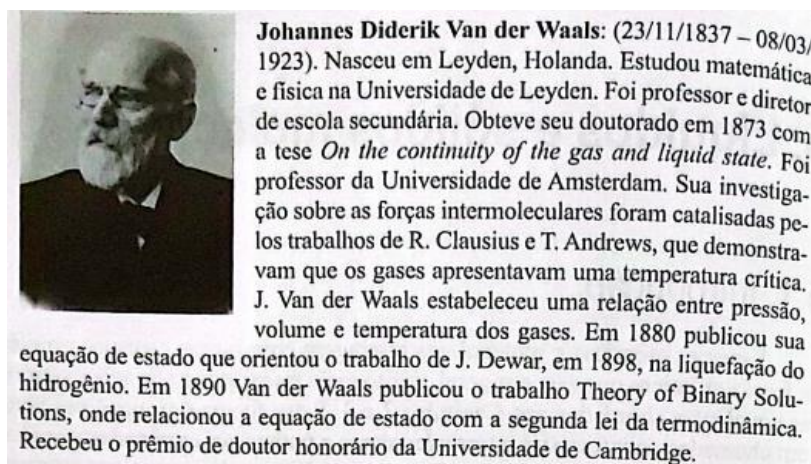


Figura 4: bibliografia do cientista Van Der Waals (L8U42).

Fonte: Benvenuti 2011 p. 144.

A unidade L8U42 também aborda o percurso profissional do cientista, porém adiciona ligeiramente a menção de conhecimentos que estavam em voga na época e que influenciaram van der Waals a apresentar seus estudos sobre Interações Intermoleculares, porém as outras seções semelhantes a esta não apresentam esta informação.

Consideramos a história como a compilação e análise dos registros e conhecimentos do passado, bem como o estudo da evolução da humanidade ao longo do tempo. Dentro desse contexto, a História da Ciência busca esclarecer como se deu a construção do conhecimento científico, proporcionando uma compreensão mais profunda da própria natureza da Ciência (Wang; Marsh, 2002). Embora a figura 4 forneça mais informações sobre os cientistas em comparação com as outras unidades identificadas, essas informações ainda são limitadas. Isso ocorre porque não contextualizam a construção do conceito, o que restringe a compreensão dos estudantes sobre o desenvolvimento histórico da Ciência. Além disso, essa abordagem tende a simplificar o conhecimento químico, apresentando-o como uma série de conceitos isolados e atemporais, sem estabelecer conexões entre eles. Portanto, ainda que essas informações sejam relevantes para compreender a vida dos cientistas, pensamos que complementá-las com uma análise mais abrangente do contexto histórico em que suas descobertas foram feitas, pode contribuir para uma compreensão mais completa e contextualizada da Ciência (Chassot, 2003).

Ainda, dentre as unidades identificadas, a L8U43 afirma que "essas interações ocorrem apenas entre moléculas heteronucleares, que apresentam momentos dipolares permanentes. São também chamadas de forças Debye". No entanto, é importante ressaltar que foi o cientista Willem Hendrik Keesom quem propôs a interação dipolo permanente-dipolo permanente, não Debye. Segundo Pereira (2020, p. 29), "as interações dipolo-dipolo podem ser subdivididas em interações dipolo permanente-dipolo induzido (forças de Debye) e interações dipolo permanente-dipolo permanente (forças de Keesom)".

Essa "confusão" na identificação dos cientistas e suas respectivas contribuições pode levar a um entendimento equivocado por parte dos estudantes. Identificar erroneamente o cientista e a proposta pode distorcer a narrativa da História da Ciência, levando a uma representação incorreta de como as teorias foram desenvolvidas ao longo do tempo. Isso destaca a importância da precisão na atribuição de créditos aos cientistas e na apresentação de suas contribuições nos LDs, a fim de promover uma compreensão mais aprofundada do desenvolvimento científico.

Apenas 5 LDs apresentaram a categoria, sendo que 60% das unidades estavam presentes nos livros de Química Geral. Portanto, entendemos que os autores dos LDs não enfatizam uma preocupação em explorar a História da Ciência. Embora essas unidades tenham sido classificadas na categoria emergente Abordagem Histórica, reconhecemos que há fragilidades, identificadas ao longo do texto. Com base nas discussões realizadas, o tipo de zona que pode ser formado neste caso é o realismo ingênuo (Bachelard, 1991). Isso ocorre porque, ao se limitar a uma abordagem simplificada da História da Ciência, apresentando os cientistas e suas contribuições de forma isolada e sem um contexto histórico mais profundo, os LDs podem induzir os estudantes a ver a Ciência como algo fechado, imutável e desprovido de uma evolução dinâmica. A apresentação de dados como nomes, datas e teorias sem uma análise mais profunda dos contextos e das relações sociais, culturais e científicas envolvidas, acaba limitando a compreensão dos alunos sobre a natureza da Ciência e o trabalho dos cientistas, conforme apontado no texto.

Ao analisar os livros, identificamos a escassez de relações e discussões entre as propostas teóricas apresentadas, que acabam sendo abordadas de forma isolada. Nesse sentido, pensamos que seria enriquecedor se os autores dos livros estabelecessem essas conexões teóricas, evidenciando o desenvolvimento das

pesquisas em variados contextos científicos. A falta dessas relações representa uma limitação na abordagem histórica empregada nas descrições dos livros, que poderia ser ampliada ao destacar a evolução interconectada das teorias ao longo do tempo.

Considerações finais

Considerando a importância das Interações Intermoleculares para a compreensão da Química e sua presença constante nos cursos superiores da disciplina, procuramos analisar como esse tópico aparece em LDs, uma vez que essas obras atuam como ferramentas essenciais para a consolidação do conhecimento científico estabelecido. Dessa forma, as categorias que foram emergidas dessa investigação constam em abordagens relacionadas na construção de modelos explicativos menos lógicos e coesos. Por exemplo, ao organizar por ordem decrescente de intensidade de Interação Intermolecular, tais classificações não demonstram claramente como diferentes tipos de interações atuam simultaneamente em um sistema, sendo assim, a estratégia adotada pelos materiais enfatiza a aplicação prática dos conceitos, mas muitas vezes sem promover uma compreensão mais profunda e crítica.

Com relação à categoria "Definição do Conceito", observa-se que as unidades dessa categoria adotam uma perspectiva que permite compreensão dos átomos e moléculas e suas interações, fundamentais para a formação da matéria. Contudo, os livros frequentemente limitam a apresentação das Interações Intermoleculares a uma classificação simplista, focando em tipos específicos de interação como forças de Van der Waals e ligações de hidrogênio, sem explorar as interrelações entre essas interações ou aprofundar a discussão sobre elas. Assim, entendemos que essa abordagem pode levar a uma compreensão limitada ou distorcida do conceito. Ainda, essa é a categoria que mais emerge, assim sugerimos que seria enriquecedor no sentido educacional se os LDs adotassem uma abordagem mais equilibrada e integradora, que combine tanto o nível submicroscópico quanto o macroscópico e simbólico, para facilitar a construção de um conhecimento mais robusto sobre as Interações Intermoleculares.

Na categoria "Representação do Conceito", percebe-se que a inclusão de representações visuais, como símbolos, fórmulas, gráficos e indícios de manipulação matemática, mas a partir dessa análise destacamos que nesses materiais, falta

aprofundar a compreensão dos conceitos de Interações Intermoleculares. No contexto do Ensino de Química, a ênfase nas representações permite que os estudantes visualizem e compreendam melhor as Interações Intermoleculares que não podem ser diretamente observadas. Portanto, a presença dessas representações nos LDs não apenas pode facilitar o processo educacional, mas também fortalece a integração dos diferentes níveis de conhecimento na Química, promovendo uma compreensão mais holística e articulada dos conceitos abordados.

Na categoria "Aplicação do Conceito", a análise revela que em algumas unidades, a forma como é explorada nesses materiais concentrando-se mais em exemplificar os conceitos sem desenvolver uma reflexão mais crítica ou profunda sobre os fenômenos. Dessa forma, os LDs adotam uma abordagem semelhante à proposta de química aplicada, mas às vezes falham em explorar completamente as implicações dessas aplicações para a formação crítica dos estudantes.

A Abordagem Histórica a análise revelou que quando abordada de forma efetiva oferece um potencial significativo para promover a compreensão da natureza da Ciência e a humanização do conhecimento científico. A reflexão sobre o processo histórico de formulação dos conceitos permite que os estudantes desenvolvam habilidades críticas de análise e interpretação, compreendendo melhor as contribuições dos cientistas e o contexto em que suas descobertas foram feitas. Contudo, a simplificação e a falta de contextualização ainda são evidentes em muitas unidades, limitando a profundidade e a integridade da compreensão histórica apresentada. Portanto, a incorporação mais robusta de uma Abordagem Histórica nos LDs poderia enriquecer a compreensão dos conceitos químicos e suas aplicações, ao proporcionar uma visão mais completa e conectada do desenvolvimento científico ao longo do tempo.

Pensamos que para otimizar o processo educacional, os materiais didáticos poderiam incorporar uma variedade de modelos e simbologias, oferecendo uma visão mais tangível e intuitiva dos fenômenos químicos. Essa diversidade de ferramentas não só amplia as possibilidades de entendimento, mas também estimula o pensamento crítico e a criatividade. Nesta perspectiva, para este trabalho, destacamos alguns desdobramentos potenciais na apresentação do conceito de Interações Intermoleculares nos LDs, além de apontar algumas limitações, conforme discutido ao longo do texto. Ao explorar as abordagens e informações contidas nos

materiais analisados, identificamos nuances na maneira como o tema é explorado, bem como possíveis melhorias nessa abordagem.

Referências:

ABBAGNANO, Nicola. Dicionário de Filosofia. 5ª edição. **Tradução da 1ª edição brasileira coordenada e revisada por Alfredo Bossi**, 2007.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química-: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Bookman Editora, 2012.

BACHELARD, Gaston. **A Filosofia do Não: filosofia do novo espírito científico**. Trad. Joaquim José Moura Ramos. (5ª edição ed.). Lisboa: Editorial Presença, 1991.

BARDIN, Lawrence. Análise de conteúdo. **Lisboa: edições**, v. 70, p. 225, 1977.

CHASSOT, Attico. **A ciência através dos tempos**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2003.

JUNQUEIRA, Marianna Meirelles. **Um estudo sobre o tema interações intermoleculares no contexto da disciplina de química geral: a necessidade da superação de uma abordagem classificatória para uma abordagem molecular**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LOPES, Alice. A concepção de fenômeno no ensino de Química brasileiro através dos livros didáticos. **Química Nova**, v. 17, n. 4, p. 338-341, 1994.

Machado, Andréa Horta (2000). **Pensando e Falando sobre Fenômenos Químicos. Química Nova na Escola**. 12(1).

MELO, Ana Paula; ROCHA, Dalva Cassie. Reflexões sobre a importância da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 17, n. 192, p. 69-77, 2017.

MIRANDA, Ana Carolina Gomes. Transição Progressiva dos modelos explicativos de estudantes do nível médio sobre Forças Intermoleculares. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

MONTEIRO, Patricia Verlingue Ramires; SILVA, Graziela Lucchesi Rosa da; ROSSLER, João Henrique. A apropriação de conceitos científicos no contexto escolar e as pedagogias do aprender a aprender. **Psicologia Escolar e Educacional**, v. 20, p. 551-560, 2016.

MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andréa Horta; ROMANELLI, Lilavate Izapovitz. A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. **Química nova**, São Paulo, v. 23, p. 273-283, 2000.

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

PEREIRA, Ademir Souza. **Uma proposta teórica-experimental de sequencia didática sobre interações intermoleculares no ensino de química, utilizando variações do teste da adulteração da gasolina e corantes de urucum**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2010.

POZO, Juan Ignacio; CRESPO, Miguel Angel Gómez. A aprendizagem e o ensino de ciências. **Porto**

Alegre: Artmed, 2009.

RODRIGUES, Tavane da S. et al. Análise sobre as formas de apresentação do conhecimento químico: o conceito de ligações químicas em livros didáticos1. **Química Nova na Escola**, v. 44, p. 428-438, 2022.

SCHNEIDER, Eduarda Maria; FUJII, Rosangela Araujo Xavier; CORAZZA, Maria Júlia. Pesquisas quali-quantitativas: contribuições para a pesquisa em ensino de ciências. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 5, n. 9, p. 569-584, 2017.

SJOSTROM, Jesper; TALANQUER, Vicente. Humanizing chemistry education: From simple contextualization to multifaceted problematization. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 8, p. 1125-1131, 2014.

SJÖSTRÖM, Jesper; EILKS, Ingo. Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung. **Cognition, metacognition, and culture in STEM education: Learning, teaching and assessment**, p. 65-88, 2018.

SERIBELI, Fábio; ANTONIO MAXIMIANO, Flavio. Conceitos fundamentais sobre energia de interação a partir de uma revisão bibliográfica do tema interações intermoleculares. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 21, n. 2, 2022.

SILVA, Vitória Schiavon da. **Trajetória e construção do conceito de Ligações Químicas de Gilbert Lewis: uma discussão a partir da Epistemologia e do Ensino de Química**. Orientador: Bruno dos Santos Pastoriza. 2022. p. 142. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

SILVEIRA, Felipe Alves; VASCONCELOS, Ana Karine Portela; ALMEIDA, Suyanne do Nascimento; SANTOS NETO, Manuel Bandeira dos. Investigação dos obstáculos epistemológicos no ensino de Química: Uma abordagem no tópico de modelos atômicos. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, Santo Ângelo, v. 1, n. 9, p. 31-46, 2019.

SJÖSTRÖM, Jesper. Towards Bildung-oriented chemistry education. **Science & Education**, v. 22, p. 1873-1890, 2013.

SJOSTROM, Jesper; TALANQUER, Vicente. Humanizing chemistry education: From simple contextualization to multifaceted problematization. *Journal of Chemical Education*, v. 91, n. 8, p. 1125-1131, 2014. Disponível: <Humanizing Chemistry Education: From Simple Contextualization to Multifaceted Problematization | Journal of Chemical.

TABER, Keith S. Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 2, p. 156-168, 2013.

TABER, Keith S. **The nature of the chemical concept: Re-constructing chemical knowledge in teaching and learning**. Royal Society of Chemistry, 2019.

WARTHA, Edson José; DE BRITO REZENDE, Daisy. Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 2, p. 275-290, 2011.

WANG, Hsingchi A.; MARSH, David D. Science instruction with a humanistic twist: teachers' perception and practice in using the history of science in their classrooms. **Science & Education**, v. 11, p. 169-189, 2002.

3.5 Artigo 5

ENTRE CONCEITO E PÁGINAS: UM PERCURSO DAS IDEIAS DE INTERAÇÕES INTERMOLECULARES EM LIVROS HISTÓRICOS DE QUÍMICA

Introdução

Discussões sobre o uso de Livros Didáticos (LD) no Ensino de Química têm sido recorrentes e amplamente exploradas na literatura acadêmica. Estudos como os de Sousa et al. (2023), Lima et al. (2010) e da Rocha & de Farias (2020) analisam o papel e a eficácia desses materiais na prática educacional. Segundo esses autores os LDs são considerados recursos fundamentais na educação, oferecendo uma base estruturada para o processo de ensino e aprendizagem. Assim, eles são importantes tanto para professores, que os utilizam como guia para o planejamento de aulas e desenvolvimento de atividades, quanto para os estudantes, que se beneficiam do conteúdo organizado e sistematizado. De acordo com Lopes (1994), os LDs em Química desempenham uma contribuição potente na mediação entre o conhecimento científico e os estudantes, facilitando a compreensão de conceitos complexos e promovendo o desenvolvimento de habilidades críticas e analíticas.

As obras que nomeamos como “históricas” desempenham um papel importante no Ensino de Química, pois podem oferecer uma janela para o desenvolvimento histórico e científico da disciplina. Esses livros, que muitas vezes são edições limitadas ou únicas de textos antigos, contêm informações valiosas sobre as descobertas e teorias que moldaram o campo ao longo dos séculos. Eles são materiais que colaboram para a preservação do conhecimento científico, visto que podem proporcionar uma compreensão mais profunda das raízes históricas e dos avanços científicos que levaram ao estado atual do conhecimento (Lutfi,2012).

A presente investigação faz parte de um estudo mais amplo que busca explorar o conceito de Interações Intermoleculares em diversos contextos, incluindo o Livro Didático (LD) do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) e o Ensino Superior. Neste estágio específico da pesquisa, focamos em analisar como esse conceito se aplica em Obras Históricas, dada a importância desses materiais para a ciência e a preservação cultural. A escolha de investigar livros históricos se deve ao fato de que eles representam um elo vital entre o passado e o presente, oferecendo aspectos valiosos sobre as práticas científicas, tecnológicas e culturais de épocas anteriores (Lutfi,2012).

Em vista disso, o principal objetivo deste trabalho consiste em investigar o conceito de Interação Intermolecular em livros históricos de Química. Para alcançar

esse objetivo, realizamos uma análise documental de sete obras históricas que abordam o conceito em questão. A análise documental foi conduzida com o propósito de examinar como o conceito de Interações Intermoleculares foi tratado e discutido ao longo dos anos nas Obras Históricas investigadas. As obras selecionadas foram escolhidas com base na relevância histórica e científica, oferecendo um panorama abrangente das abordagens e interpretações em materiais que foram produzidos nos séculos XVIII e XIX.

Metodologia

O livro escolar de Química possui uma longa história de uso no Brasil, com registros de sua presença por pelo menos 200 anos (Lutfi, 2012). Dada essa tradição, decidimos investigar como os materiais didáticos antigos diferem dos utilizados atualmente. Para isso, realizamos uma análise documental focada em livros de épocas passadas.

A análise documental foi então conduzida com o objetivo de identificar e compreender as características distintivas desses livros, explorando aspectos como abordagem pedagógica, organização do conteúdo, linguagem utilizada, mas principalmente buscamos identificar as evoluções conceituais do conceito ao longo do tempo. Este estudo permite uma reflexão sobre como a educação científica tem evoluído e se adaptado às novas demandas educacionais e sociais.

Para descrever esse processo de análise, nos referimos as autoras Ludke e André (2017). Elas ressaltam que a análise documental possui o intuito de representar de forma condensada a informação, para consulta e armazenamento de informações que podem contribuir para o alicerce de um conhecimento. Sendo assim, trata-se de um procedimento que utiliza métodos e técnicas de captação, compreensão e análise de um universo de documentos. Em vista disso, essa técnica possui um cunho qualitativo, expressando métodos voltados à apreensão e à extração de dados provenientes de documentos, com uma compreensão detalhada e profunda dos fatos investigados.

Para a coleta de dados, podem ser obtidos de diversas formas, sendo necessário determinar o objetivo da pesquisa para poder definir a abordagem mais adequada de coleta de dados. Além disso, ressaltamos que a Análise Documental

visa identificar informações factuais nos documentos com base em questões e hipóteses de interesse, utilizando o próprio documento como objeto central de estudo. Diante disso, para o percurso metodológico dessa análise Ludke e André (2017) enfatizam três momentos para a análise documental: *Qual documento a ser analisado/análise do documento; unitarização e codificação; Construção de Categorias/Tipologias.*

O primeiro momento foi direcionado para a escolha do tipo de documento que foi analisado, não podendo ser de forma aleatória, sendo necessário critérios prévios, ideias e hipóteses para guiar a seleção dos documentos. Dessa forma, na presente pesquisa os critérios das obras estavam de acordo com o aprofundamento dos conceitos da Química no século XIX e XX no Brasil como na Europa, visto que consideramos esse período histórico, pois são retratados em um período distante da qual estamos. Sendo que, delimitamos em um período entre 1850 a 1960, assim, a respeito para escolha das Obras Históricas selecionadas os critérios prévios foram: a presença dos termos Coesão/Coesão, Forças de Van der Waals e Ligações de hidrogênio, que identificamos presentes nesses materiais. Nesse sentido, realizamos seleção de livros históricos presentes em acervos de universidades do Rio Grande do Sul, sendo elas: Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS). Mediante esse processo, 36 livros foram selecionados, no entanto, apenas 7 livros continham trechos que abordavam os conceitos de Interação Intermolecular, que nessa época era discutido com o uso dos termos apresentados anteriormente.

Posterior ao momento de seleção dos documentos, ocorre o processo de unitarização e codificação da unidade e trechos dos documentos. Esse momento de codificação/unitarização envolve a transformação das informações brutas em segmentos organizados e numerados, permitindo a representação do documento e destacando suas características e enumerações. Para essa pesquisa, a codificação/unitarização foram atribuído identificações únicas a cada livro analisado, o que permitiu sua distinção e referência ao longo da pesquisa, logo, essa codificação seguiu uma sequência numérica crescente para cada livro, resultando em identificadores numerados (L1, L2, L3, L4, L5, L6 e L7). Além disso, a unitarização envolveu a subdivisão de cada livro em unidades distintas, para permitir uma análise

detalhada e organizada dos conteúdos relacionados aos conceitos de Interações Intermoleculares presentes em cada obra. As unidades foram designadas com o prefixo "U" seguido de um número (por exemplo, U1, U2, U3), representando diferentes partes. Para uma melhor compreensão, abaixo criamos um Quadro 1 para especificar os livros analisados:

Quadro 1: materiais que compõem o corpus de análise.

Código	Unitarização	Título	Autores	Edição	Ano de Publicação	País
L1	L1Un	Elementos de Chimica Geral Baseados nas modernas Acquisições scientificas refundidos e adaptados aos programa de admissão ás Escolas Superiores	MACIEL, M.	2 ed	1913	Brasil
L2	L2Un	Curso Geral de Quimica	PUIG, I.	2 ed	1932	Brasil
L3	L3Un	Elementos de Chemica Inorganica para alunos d'esta disciplina nos gymnasios e escola superiores da república	AMARAL, T. V. P.	2 ed	1921	Brasil
L4	L4Un	Lições de Chimica para uso de Aspirantes a todas a escola superiores: Physico – Chimica	BARROS, M. P.	4 ed	1932	Brasil
L5	L5Un	França; Cours Élémentaire de Quimie	REGNAULT, M. V.	3 ed	1851	França
L6	L6Un	Inorganic Chemistry	MOELLER, T.	1 ed	1956	Espanha

L7	L7Un	Chimie Générale	PASCAL, P.	4 ed	1952	França
----	------	-----------------	------------	------	------	--------

Fonte: Autores

Por fim, para organizar os trechos retirados dos diferentes livros, emergiu duas categorias para fundamentar as discussões e melhor analisar a abordagem do conceito investigado nestes materiais. A primeira categoria é *A Discussão das Interações Intermoleculares no Brasil (L1, L2, L3 e L4)* destacamos que a categoria surgiu devido à aparição de quatro livros históricos publicados no Brasil, que apresentavam semelhanças na forma de abordagem e discussão. Criamos esta categoria para melhor fundamentar a difusão dos conceitos de Interação Intermolecular ao longo do século XX.

A segunda categoria *Percursos na Europa século XIX e XX (L5, L6 e L7)*, envolve os avanços das Ciências no aprimoramento de discussões e proposição de teorias mais revestidas, detalhadas e que possuem melhor aprofundamentos e enfoques em relação ao conceito de Interação Intermolecular, sendo complementado com relações de fenômenos naturais na descrição dos trechos. Ademais, nessa categoria iremos discorrer sobre as diferenças dos termos utilizados pelos livros publicados na Europa, que seriam *Cohésion* e *Forces de van der Waals*, sendo esses os termos referentes ao nosso conceito de interesse nesses materiais e denotar suas diferenças e implicações, embora se refiram ao mesmo conceito, esses termos possuem um enfoque distinto, além de apresentarem limitações em suas discussões.

A Discussão das Interações Intermoleculares no Brasil

A Revolução Científica, que teve lugar na Europa dos séculos XVI a XVIII, foi um fenômeno histórico envolvendo a Química, Biologia e Física, proporcionando descrição em relação aos fenômenos observáveis que ocorrem na natureza. Segundo Figueiras (1993) seu ápice foi no continente europeu.

De modo geral, constatamos que o termo utilizado para se referir às Interações Intermoleculares era "Cohesão" ou "Coesão", também relacionado às discussões sobre o comportamento e a descrição dos corpos. Durante a análise, percebemos que as concepções de coesão foram empregadas para caracterizar diferentes corpos, relacionar conceitos diversos e abordar assuntos propostos nos livros. No entanto, encontramos apenas um parágrafo que descreve a natureza da coesão, sem um

capítulo específico ou páginas dedicadas à definição do conceito. Esse termo era utilizado como uma ferramenta para explicar os fenômenos interativos entre diferentes moléculas. Corroborando essa visão, Zeegers-Huyskens e Huyskens (1991) apontam que:

Há um limite para a descrição de potenciais de interação por equações generalizadas contendo cada vez mais parâmetros, especialmente quando a suposição de simetria esférica não pode ser mantida, como no caso da maioria das moléculas poliatômicas. Certas moléculas compartilham propriedades específicas para uma determinada parte de sua estrutura química. Uma grande vantagem sistemática é frequentemente obtida ao tratar as forças de interação resultantes de tais características como uma categoria específica de natureza química única (Zeegers-Huyskens e Huyskens 1991, p. 81).

De acordo com o referencial mencionado, é possível utilizar as concepções sobre Coesão e/ou Interação Intermolecular para caracterizar e diferenciar moléculas e suas ligações, sem estabelecer a distinção que, nos dias atuais, é feita entre Interações Intramoleculares e Interações Intermoleculares. Essas concepções permitem uma análise das interações que mantêm as moléculas unidas. Desta forma, destacamos que, mesmo com algumas diferenças nos anos de publicação desses livros, todos utilizam o termo "Coesão". Nesse sentido, os livros localizados no Brasil possuem semelhanças na forma como abordam as concepções de coesão. No entanto, apontamos que há pequenas diferenças entre eles. Neste caso, o L4 não contém um enfoque na definição do conceito de coesão, mas sim nas concepções de coesão em diferentes situações, como no comportamento das moléculas e em seus movimentos próprios. Entretanto, apresenta um parágrafo considerável em relação ao conceito de coesão, como pode ser evidenciado nas unidades L4U3 L4U5:

As moléculas atraem-se: quando pegamos por uma extremidade um corpo sólido, todo o resto segue; quando mergulhamos o dedo na água, retiramo-lo molhado, isto é, revestido de um número muito grande de moléculas; como as moléculas não se tocam, devemos admitir que existe entre elas uma força que as liga; esta força é a coesão. A coesão é muito grande nos sólidos, mas como diminui rapidamente quando aumenta a distância entre as moléculas, os sólidos retirados acabam por romper-se; pela mesma razão, é muito fraca nos líquidos e aí ainda mais nos gases. (L4U3)

Um exemplo dará uma ideia da grandeza da coesão: para separar ou afastar as moléculas de 1Kgr de gelo no fenômeno da fusão, são necessárias 80 grandes calorias, sejam $80 \times 426 = 34.000$ Kgm; para levar esta água de 0° a 100° é preciso mais um trabalho de 42.600 Kgm; para vaporizar esta água a 100° são precisos ainda $538 \times 426 = 229.000$. Na marcha inversa dos fenômenos, as moléculas restituirão, por assim dizer em 3 quedas sucessivas, este triplice trabalho, equivalente, no seu conjunto a cerca de 306.000 Kgm, isto é, a que de um peso de 100 Kg. de uma altura de 3 Km. (L4U5)

A respeito do livro L1, em seus trechos, caracteriza a importância para a compreensão das interações que ocorrem entre os diferentes átomos, abordando-as em um sentido mais teórico, com pouco uso de exemplificação, o que o diferencia do L4. Este também foca na molécula, ou seja, nos corpos, não em uma conceituação própria da coesão. Conforme os trechos presentes nas unidades L1U1 e L4U1, foi possível visualizar essas diferenciações entre os livros publicados no Brasil, como:

Assim como o equilíbrio dos corpos no espaço deriva do concurso de duas forças opostas - atração e a repulsão, assim na intimidade dos próprios corpos coexistem, como formas latentes da energia, duas forças intermoleculares - a *coesão* e a *repulsão* a que se devem os três estados físicos dos corpos: o estado gasoso, o líquido e o sólido. (L1U1)

As moléculas não se tocam: se deixarmos cair uma gota de azeite sobre uma mesa de mármore e enxugarmos depois de algum tempo, fica uma mancha atestando a penetração do líquido no sólido. Um litro de água pode absorver cerca de 1000 litros de gás amônia, do peso de 3/4 de Kg., sem aumentar sensivelmente de volume; o gás penetrou no líquido. Todos os corpos são mais ou menos compressíveis, etc. (L4U1)

Em relação ao L2, constatamos apenas duas unidades, onde na primeira há uma pequena frase que aborda a concepção sobre coesão (sem "h"), e na segunda unidade, utiliza-se dessa classificação introduzida no trecho anterior, com enfoque na manifestação da coesão em substâncias líquidas. Dessa forma, observa-se uma relação entre descrição e aplicação do conceito, similar aos outros livros, como evidenciado na unidade L2U1:

A coesão se manifesta particularmente nos líquidos quando se lhes subtraem tanto quanto possível as forças exteriores aos mesmos, porque quando operam somente as interiores, correspondentes a seus últimos elementos, torna-se patente a tendência dos referidos corpos para tomar a forma esférica. (L2U1)

Por fim, o L3 também contém poucas unidades que envolvem o termo “Coesão” ou “Coesão”, apresentando somente três unidades. Apontamos que, assim como os outros livros, este também envolve um foco direcionado para a constituição dos corpos, seja por meio de uma descrição do conceito ou até uma relação com corpos. Além disso, novamente não há ao menos meia página que trate exclusivamente da concepção em relação ao conceito de coesão. Contudo, percebemos que a diferença desse livro para os demais é que ele contém uma ênfase maior nos estados físicos da matéria, como é descrito na unidade L3U2:

Afinidade é, pois, a força que une dois ou mais átomos para formar as moléculas. Coesão é a força que une as moléculas para formar o corpo.

Além destas duas forças temos necessidade, para explicar os estados físicos dos corpos, de admitir uma terceira, a força repulsiva ou de repulsão, cuja origem é ao calor e que tem por efeito arrastar as moléculas umas das outras, porque é justamente do equilíbrio ou desequilíbrio entre a coesão e a repulsão que resultam os estados dos corpos.

Ao ver cada uma dessas unidades, percebemos que a semelhança está no enfoque da relação da coesão/cohesão com os estados físicos da matéria, cujas concepções estão direcionadas somente para explicar o comportamento de fenômenos. Nesse sentido, o conceito por si só está em segundo plano, sendo evidenciado somente por uma frase ou no máximo um capítulo, como acontece no L4U4:

Natureza da coesão: A coesão é uma força análoga, mas não idêntica, à gravitação universal; como está, é proporcional às massas moleculares em presença, porém, não varia na razão inversa da segunda potência, senão da quarta potência das distâncias; pode ser representada pela fórmula $f = K \cdot \frac{mm'}{d^4}$, onde K , determinado pela experiência, equivale a 10^{11} .

O coeficiente K significa que se pudéssemos colocar a 1 centímetro de distância duas moléculas da massa de 1 grama (tais moléculas existem) atrair-se-iam com uma força de 10^{11} gramas, sejam 100.000 toneladas, seria o valor do coeficiente K . Este coeficiente, no caso da atração universal, sendo 67×10^{-9} , vê-se que a coesão é uma força incomparavelmente superior à gravitação.

Analisando esses trechos, percebemos que há uma diferenciação entre o livro publicado por uma editora brasileira e aquele publicado por uma editora europeia, que serão apresentados posteriormente. No caso, o L7 não contém um enfoque na definição do conceito de coesão, o que evidencia as diferenças no modo de abordagem da Química europeia. Dessa forma, os pesquisadores brasileiros optaram por uma maneira alternativa ao trazer a coesão para seus respectivos livros, tendo um foco em relações do conceito, assim como no conceito em si.

Ainda, apontamos que, no decorrer da análise, os autores consideram a coesão como uma propriedade relacionada com a atração e repulsão. Segundo Zeegers e Huyskens (1991), não existem diferenças fundamentais entre forças de coesão e ligações químicas. Contudo, em relação às forças repulsivas, há um efeito oposto, no qual ocorrem suas diferenciações. Dessa forma, parte de uma discussão sobre os fenômenos que ocorrem no espaço discorre em relação às forças de coesão e repulsão, não tendo um capítulo para aprofundar nas ideias e argumentar de tal forma como sobre as interações entre os diferentes átomos.

Para uma melhor compreensão da utilização do termo coesão, buscamos analisar a construção histórica das Ciências no Brasil. De acordo com Dantes (2001), essa construção foi desenvolvida de fato a partir da década de 1980, ganhando força nas políticas estatais. Dessa forma, estimulou-se a formação de estudiosos nesta área do conhecimento, e os cientistas passaram a se dedicar ao estudo da História da Ciência e seus conceitos. Ainda de acordo com a pesquisadora, a Ciência brasileira era embasada nas formulações das grandes teorias da Europa, sendo passiva na produção científica, apenas transmitindo o conhecimento proposto pelos grandes centros.

Em 1916, ocorreu a criação da Sociedade Brasileira de Ciências, marcando o início da divulgação da ciência nos periódicos. De acordo com Moreira e Massarani (1998), a análise do catálogo da Biblioteca Nacional mostra que, ao longo de todo o século XIX, foram criados cerca de sete mil periódicos no Brasil, dos quais trezentos estavam relacionados de alguma forma à ciência. Em relação aos livros científicos, mais especificamente aos de Química, Mortimer (1988) aponta que, no período entre o século XIX e 1930, os livros de Química tinham um enfoque na química geral, sendo bastante estruturados. Ademais, Mortimer (1988, p. 25-26) ressalta que:

As principais definições aparecem em meio a uma gama variada de exemplos, em textos muito bem encadeados. Não há uma preocupação em conceituar para depois exemplificar. Em geral o livro discute exemplos de determinados fenômenos que vão conduzir, naturalmente, a um conceito. Dessa maneira, os exemplos são discutidos e explicados antes de serem generalizados em conceitos, e quase todos os estes são apresentados, em primeiro lugar, operacionalmente. Depois de introduzidas as teorias, são retomados por meio de definições conceituais.

Mori e Curvelo (2014) enfatizam que os livros da época eram traduções e adaptações de obras europeias, principalmente influenciados por autores franceses. Aos poucos, passaram a ser produzidos livros escritos por brasileiros e publicados por editoras como a Imprensa Nacional e a Francisco Alves, sempre em língua portuguesa. No entanto, alguns livros continham uma mistura de idiomas, sendo traduções incompletas, e muitos termos químicos ainda eram descritos na língua original.

Em relação aos termos Coesão e Forças de Van der Waals, como enfatizado anteriormente, esses termos remetem ao comportamento e à Interação Intermolecular. O termo Coesão possui um significado mais abrangente e surgiu

antes, sendo previsto em 1806 por Laplace, que relacionou as forças de coesão para explicar os fenômenos de capilaridade (Huyskens, Luck e Zeegers-Huyskens, 2012).

Os livros publicados e traduzidos no Brasil que analisamos nesta pesquisa utilizam os termos Coesão/Coesão, visto que suas publicações ocorreram entre 1900 e 1915. Esse termo teve uma maior repercussão, pois foi estudado no início do século XIX. Por outro lado, as Forças de Van der Waals foram discutidas em 1873, o que evidencia que na Europa o termo estava começando a ser introduzido em livros. Sendo a Europa a região central das Ciências, somente quando esse termo fosse amplamente aceito e consolidado começaria a se difundir e aparecer em obras publicadas em outras regiões. Por isso, o uso do termo Coesão/Coesão era mais comum, pois já estava fixado e discutido pelos europeus.

Percursos na Europa nos séculos XIX e XX

Para evidenciar os conceitos de Interação Intermolecular nos livros históricos analisados, é importante notar que, como discutido anteriormente, esse tópico estava diretamente relacionado com os conceitos de Coesão/Coesão, de modo, em livros de séculos anteriores, em que ainda os estudos de interação não haviam sido aprofundados, alguns autores utilizam o termo Coesão/Coesão nos livros para trazer concepções e classificações de Interações Intermoleculares. De acordo com Zeegers-Huyskens e Huyskens (1991, p.4):

As forças de atração que estão na origem desta coesão são chamadas de forças “Van der Waals”. Eles são mais fortes em líquidos ou sólidos devido às distâncias mais curtas entre os núcleos. Pode-se assim definir as forças de Van der Waals como atrações coesivas entre moléculas que já estão ativas em longas interdistâncias entre átomos. Além das forças de Van der Waals existem forças de coesão que atuam a curtas distâncias, nomeadamente as ligações de hidrogénio e as ligações de transferência de carga (EDA). Estas forças de curto alcance também são chamadas de forças de coesão “específicas” porque requerem o contato entre determinados locais específicos das moléculas dos parceiros.

Diante disso, os autores do L5 utilizam as concepções de Coesão, seja os conceitos, definições ou classificações, para descrever os comportamentos, propriedades e, principalmente, a formação dos corpos (moléculas). Entretanto, não há um capítulo específico nos livros para descrever apenas os conceitos de Coesão/Coesão (interação intermolecular). O autor compreende que este tema serve como uma ferramenta para evidenciar as características dos corpos e justificar, por

meio dos conceitos de coesão, a constituição dos corpos. Além disso, o termo está contido em apenas quatro unidades desse livro. Para o autor, a Coesão/Cohesão possibilita compreender as interações coulômbica² entre partículas carregadas, elétrons e núcleos presentes nos corpos (Zeegers-Huyskens e Huyskens, 1991). Entendemos que o autor considera a Coesão/Cohesão uma ferramenta para discutir as diferenças quando predominam interações entre cargas de sinais diferentes, resultando na atração dos corpos. Para evidenciar esses dados, abaixo apresentamos os trechos em que identificamos as concepções de Coesão, que servem para caracterizar e justificar, por meio dos conceitos de coesão, a constituição dos corpos.

Força de agregação ou coesão - A força que reúne moléculas semelhantes de um corpo simples ou composto é chamada de força de agregação ou coesão. Esta força é muito forte em corpos sólidos; é quase insensível em corpos líquidos e completamente nulo em fluidos elásticos. Neste último, as partículas presentes apenas pelas pressões que são exercidas nas paredes do invólucro que contém o fluido (L5U1).

Em 1851, ainda não se tinha uma proposição tão esclarecida. Por outro lado, em 1952 e 1956, Van der Waals já havia construído suas ideias e as divulgado para a academia, apresentando concepções aprofundadas a respeito da Coesão, sendo conhecido pelas forças de Van der Waals (Huyskens, Luck e Zeegers-Huyskens, 2012). Isso fica evidente nas unidades L6U2 e L7U24:

Assim, as moléculas estão presentes, como acontece com os haluros de hidrogênio, colocados em momentos dipolares. Como esperamos, a magnitude digital do momento dipolar aumenta, bem como aumenta a eletronegatividade do halogênio nesta série (de $0,4 \times 10^{-18}$ para IH a $1,9 \times 10^{-18}$ para FH). Por outro lado, a molécula de dióxido de carbono se coloca em um momento dipolar zero, pesando que o carbono e o oxigênio diferem tão marcadamente em mais eletronegatividades (pág. 146). Como toda conexão C - O deve ser definida em um momento dipolar, a conclusão que se deduz é que os átomos devem se encontrar em linha reta (OCO), porque os dipolos individuais são neutralizados entre si. Pelo contrário, a água apresenta um momento dipolar de ordem de $1,71$ a $1,97 \times 10^{-18}$ ues, o que indica que a molécula deve ter simetria angular. Os métodos experimentais são mostrados a seguir, no ângulo HOH de $104^\circ 40'$. Como a carga negativa está localizada no oxigênio e no hidrogênio positivo, o dipolo aparece após o resultado, conforme mostrado no diagrama (L6U2).

As forças de Van Der Waals ou, melhor ainda, as interações dipolo e os fenômenos de coordenação condicionam principalmente as propriedades termoelásticas dos fluidos; os dois últimos fatores frequentemente se relacionam qualitativamente entre si, mas as interações dipolares por si só se prestam a cálculos numéricos explícitos (L7U24).

² Interação eletrostática (coulômbica) entre pares, uma partícula carregada submetida a um potencial coulombiano atrativo (Atkins, 2018; Costa, 1996).

Os livros aprofundam os conceitos relacionados a esse tema, destacando sua importância para a compreensão das interações entre os átomos dos diferentes elementos. Destacamos que há uma preocupação maior com o conceito em si, com os autores apresentando definições mais completas e detalhadas. Em vez de se concentrar apenas no comportamento das moléculas, eles passam a oferecer definições que permitem classificar os comportamentos das interações intermoleculares entre diferentes átomos.

Em relação a L6 e L22, suas publicações ocorreram em meados de 1950. Analisando os capítulos dos livros seus enfoques estão em descrever os princípios da Química, como também, descrever os elementos químicos, no caso os autores visam abordar a constituição dos átomos, suas interações, além das propriedades de cada elemento. Isto, por via da explicação das estruturas atômicas, valência e ligações químicas, ácidos e bases e atrações eletrostáticas, todos esses assuntos servem para a explicação da formação dos átomos e seus comportamentos por si só, bem como, interagindo com outros átomos. Por ser um livro de 1952 e 1956, a terminologia é mais conhecida, sendo as forças de Van der Waals. Diante disso, evidenciamos comparações com o livro publicado no século XVII, em que a primeira evidência está na maneira que esse tópico está presente no livro. Enquanto no L4 há somente uma unidade que há a presença da Coesão, o L6 contém 17 unidades e L7 15 unidades que de algum modo, estão relacionadas às concepções de Coesão, com certeza isso está direcionado aos anos de publicações.

Com base no entendimento histórico dessas concepções, L6 e L7 utilizam os conceitos de Interações Intermoleculares de duas maneiras principais: primeiro, descrevem o conceito em si das interações, e segundo, explicam as particularidades e comportamentos das moléculas com base nos conceitos definidos em seus trechos. Dada a abrangência e os detalhes que as Forças de Van der Waals permitem evidenciar em moléculas e substâncias, os livros do século XX começaram a adotar esse termo. Para ilustrar esses argumentos, a seguir destacamos trechos em que são descritos os conceitos de Interações Intermoleculares, com algumas unidades retiradas de cada livro:

Você pode distinguir um certo número de atrações eletrostáticas que são ainda mais excitadas do que aquelas que se apresentam em componentes iônicos típicos. Essas ações estão sujeitas a dipolos. Um dipolo químico é produzido entre átomos quando há uma distribuição precisa de carga na

molécula. Esta distribuição pode se apresentar em uma molécula diatômica como consequência de diferenças entre as eletronegatividades de ambos os átomos, ou em uma molécula poliatômica angular quando se apresenta em diferenças analógicas. Entrar em um dipolo é uma substância que não é iônica, em que um extremo representa uma carga positiva ou negativa em relação ao outro. A magnitude deste produto da carga é expressa em função do momento dipolar (μ), dos dipolares têm magnitudes da ordem de 10^{-18} unidades eletrostáticas (1×10^{-18} ues = 1 Debye ó 1 D) (L6U1).

A formação de uma rede cristalina põe em jogo forças relativamente intensas que garantem a sua conservação e rigidez, apesar da agitação térmica dos seus elementos constituintes, até ao momento em que a amplitude e os seus alongamentos, aumentados pela elevação da temperatura, impossibilitam a manutenção da simetria restrita do sistema e resulta, por meio da fusão, no estado líquido geralmente isotrópico. As forças atrativas e repulsivas entre possíveis íons, que obedecem às leis de Coulomb, as forças atrativas de Van der Waals entre átomos ou grupos de átomos, finalmente as forças repulsivas de átomos em distâncias curtas (L7U1).

Assim, observamos que os livros (L6 e L7) publicados mais recentemente começam a descrever os cientistas que investigaram esses conceitos. Em relação ao L6, este livro apenas menciona aspectos das ligações de hidrogênio, citando referências como Latimer e Rodenbusch, que foram os primeiros a reconhecer a frequência das ligações de hidrogênio. No entanto, para outros tipos de interação, não há menção de cientistas específicos; suas concepções estão, na verdade, entrelaçadas com as definições propostas por Van der Waals, como pode ser visto nas unidades L6U10.

Entretanto, o L7 destaca principalmente Van der Waals como referência, e enfatiza que Pascal (1911) pode ter sido o primeiro a introduzir o conceito de "ligação de hidrogênio" associado a uma ligação múltipla delineada, conforme evidenciado nos trechos das unidades L7U24 e L7U15:

Os primeiros a reconhecer que as ligações de hidrogênio ocorrem frequentemente foram provavelmente Latimer e Roderbush, embora alguns anos antes a sua existência entre azoto e oxigênio no hidróxido de trimeilamônio tivesse sido postulada e tivesse sido usada para explicar a diminuição das propriedades ácidas dos hidrogênios fenólicos localizados na posição orto em relação ao grupo carbonila em derivados de benzeno. Latimer e Rodebush usaram este conceito para explicar a associação molecular na água e no fluoreto de hidrogênio líquido, a existência de altas constantes dielétricas nessas substâncias, a fraca ionização da amônia em solução aquosa e a associação do ácido acético em moléculas de dímero. Desde então, um grande número de exemplos de ligações de hidrogênio foram descobertos. (L6U10).

Pascal (1911) foi talvez o primeiro autor a recorrer à noção de - ligação de hidrogénio - associada a uma ligação múltipla delineada, para explicar o déficit diamagnético de certos carbonetos de halogéneo. A energia molecular da ligação de hidrogênio é sempre baixa. (L7U15).

Portanto, ao destacar Van der Waals e Pascal, sublinha um avanço significativo na história da química. Van der Waals é reconhecido por suas contribuições pioneiras ao conceito de interações intermoleculares, enquanto Pascal, em 1911, foi um dos primeiros a introduzir a noção de "ligação de hidrogênio" associada a ligações múltiplas, contribuindo para a explicação de fenômenos como o déficit diamagnético em certos carbonetos de halogênio. Também menciona que Latimer e Rodebush foram fundamentais na identificação das ligações de hidrogênio, aplicando o conceito para explicar vários fenômenos químicos, como a associação molecular em água e fluoreto de hidrogênio e a formação de dímeros no ácido acético. A menção a Latimer e Rodebush destaca a importância de suas pesquisas na identificação e compreensão das ligações de hidrogênio, enquanto a referência a Pascal ilustra como o conceito foi evoluindo e se aprofundando. A comparação entre as contribuições de diferentes cientistas reflete o progresso contínuo na Química e a crescente complexidade dos conceitos explicativos.

Considerações Finais

Diante do exposto, ao analisarmos as categorias "*A Discussão das Interações Intermoleculares no Brasil*" e "*Percursos na Europa nos Séculos XIX e XX*", pensamos ser possível evidenciar importantes semelhanças e diferenças na construção da compreensão científica sobre as Interações Intermoleculares. Nos livros brasileiros do início do século XX, observamos uma adaptação e assimilação dos conceitos europeus, refletindo a influência contínua da ciência da Europa no desenvolvimento científico nacional. Embora os conceitos como coesão estivessem presentes, evidenciamos que a possível forma que ocorria abordagem, era de uma maneira mais prática e menos detalhada, tendo indícios de uma dependência significativa das inovações europeias.

Em contraste, a literatura europeia dos séculos XIX e XX demonstrou um progresso substancial na definição e compreensão das Interações Intermoleculares. A introdução e detalhamento das forças de Van der Waals, bem como o reconhecimento das contribuições de cientistas como Van der Waals, Latimer, Rodebush e Pascal, destacam uma evolução significativa no aprofundamento da teoria científica. As diferenças entre os enfoques europeu e brasileiro ilustram não

apenas a mudança na teoria científica, mas também a mudança e autonomia da Ciência no Brasil em relação à influência europeia.

Ainda, ao analisar os livros de Química do século XIX até a década de 1930, observamos que os textos de L1 a L6 focam principalmente nos corpos e nas suas Interações Intermoleculares com diferentes estruturas. Esses livros que contêm elementos menos comuns nos textos modernos são exemplares e úteis para evidenciar as características dos corpos e justificar sua constituição através dos conceitos de Coesão/Cohesão.

A pesquisa realizada contribui significativamente para conectar os conceitos de Interação Intermolecular contemporâneos com as descrições dos séculos anteriores. Ao examinar os trechos que abordam essas interações, notamos algumas diferenças em relação às definições atuais, como a ênfase nas discussões sobre o comportamento e as relações entre os corpos. Como consideração final, evidenciamos que, ao longo dos anos, os conceitos de Interação Intermolecular mudou para um enfoque mais aprofundado nas definições e teorias que explicam o comportamento das moléculas.

Referências

- ATKINS, Peter; JONES, Loretta; LAVERMAN, Leroy. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. Porto Alegre: ArtMed, 2018. 1 recurso online. ISBN 9788582604625.
- COSTA, Ivan. **Interação coulombiana em poço quântico sujeito a campo magnético**. 1996. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas.
- DANTES, Maria Amélia M. Introdução: uma história institucional das ciências no Brasil. **Espaços da ciência no Brasil**, v. 1930, p. 13-22, 1800.
- DE SOUSA, Beatriz Maia; DA SILVA SOUZA, João Paulo; BALDINATO, José Otavio. **Experimentos históricos nos livros didáticos: implicações para o ensino de química**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 40, n. 2, p. 357-391, 2023.
- FILGUEIRAS, Carlos. **A influência da Química nos saberes médicos acadêmicos e práticos do século XVII em Portugal e no Brasil**, Química Nova, v.16, n.2, 155- 160, 1993.
- LEHN, Jean-Marie. **Supramolecular chemistry**. New York: Vch, Weinheim, 1995.
- LIMA, Maria Emilia Caixeta de Castro; SILVA, Penha Souza. **Critérios que professores de química apontam como orientadores da escolha do livro didático**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 12, n. 2, p. 121-136, 2010.
- LUTFI, Mansur. **Produção social de livros escolares de química no Brasil, de 1810 a 1941**. Revista virtual de química, v. 4, n. 6, p. 703-718, 2012.
- LUDKE, Menga; ANDRÉ, Marli Eliza Dalmazo Afonso de. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. Rio de Janeiro: E. P. U., 2017. 112 p.
- MATTIA, Elio; OTTO, Sijbren. **Supramolecular systems chemistry**. Nature nanotechnology, v. 10, n. 2, p. 111-119, 2015.

MORTIMER, Eduardo. **A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário.** Em aberto, v. 7, n. 40, 1988.

MOREIRA, Ildeu de Castro; MASSARANI, Luisa. **Aspectos históricos da divulgação científica no Brasil.** Ciência e público: caminhos da divulgação científica no Brasil. Rio de Janeiro: Casa da Ciência, p. 43-64, 2002.

MORI, Rafael Cava; CURVELO, Antonio Aprigio. **O que sabemos sobre os primeiros livros didáticos brasileiros para o ensino de química.** Química Nova, v. 37, p. 919-926, 2014.

RAICK, Anabel Cardoso. **Algumas interações pessoais de Niels Bohr com JJ Thomson e Ernest Rutherford no período de seu pós-doutorado: para uma visão mais humana da ciência.** A Física na Escola, v. 21, p. 220907-1-220907-14, 2023.

ROCHA, Carlos José; DE FARIAS, Sidilene. A importância do livro didático na integralização e aulas de Química em escola pública. EDUCA-Revista Multidisciplinar em Educação, v. 7, n. 17, p. 1547-1560, 2020.

ZEEGERS-HUYSKENS, Therese; HUYSKENS, Pierre. **Intermolecular forces.** In: Intermolecular forces: An introduction to modern methods and results. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1991. p. 1-30.

3.6 Artigo 6

MAPEANDO O PERFIL EPISTEMOLÓGICO: A QUÍMICA ENSINADA É CLÁSSICA

Prelúdio ao artigo 3.6: Mapeando o Perfil Epistemológico: A Química Ensinada é Clássica

Este sexto e último artigo da pesquisa dedica-se à análise empírica dos resultados obtidos a partir do mapeamento do Perfil Epistemológico nos três tipos de materiais didáticos investigados: livros do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), materiais de Ensino Superior e Obras Históricas. Após refletirmos sobre as origens e a construção do conceito de Interações Intermoleculares, conforme discutido no artigo anterior, aqui avançamos para uma análise mais concreta da abordagem epistemológica que permeia esses materiais.

Os resultados empíricos demonstram uma predominância clara do Racionalismo Clássico em todos os materiais analisados, evidenciando uma abordagem tradicional da Química. Essa constatação reforça o entendimento de que, apesar das mudanças e das discussões contemporâneas sobre o Ensino de Química, os materiais didáticos ainda estão fortemente ancorados em um modelo clássico de formação. Tal constatação abre espaço para uma reflexão sobre as implicações desse Perfil Epistemológico na formação dos futuros educadores e na maneira como possivelmente a Química é ensinada aos estudantes.

O estudo da predominância do Racionalismo Clássico nos materiais didáticos nos leva a questionar os desafios da inovação pedagógica na área da Química e a necessidade de uma maior contextualização no Ensino, alinhada às demandas atuais.

Introdução

As Interações Intermoleculares desempenham um papel importante no Ensino de Química, por serem conceitos fundamentais para compreender propriedades de substâncias, como solubilidade, ponto de ebulição e formação de soluções (Miranda, 2018). Contudo, a abordagem dessas interações em materiais didáticos pode variar significativamente, dependendo dos pressupostos epistemológicos que embasam sua apresentação, conforme observamos em etapas anteriores da presente investigação. Esses pressupostos não apenas influenciam a forma como o conteúdo é estruturado, mas também moldam as concepções de Ciência que os estudantes constroem ao longo do processo educativo.

No contexto educacional brasileiro, os livros didáticos (LDs) representam um recurso relevante para a disseminação do conhecimento químico. O Programa Nacional do Livro (PNLD), e do Material Didático, por exemplo, estabelece diretrizes que visam à qualidade e à acessibilidade desses materiais no Ensino Básico. Paralelamente, livros acadêmicos utilizados no Ensino Superior e Obras Históricas sobre conceitos científicos oferecem perspectivas distintas, tanto na forma de explorar dos conteúdos quanto nos paradigmas científicos subjacentes. Essas diferenças suscitam questões importantes sobre o Perfil Epistemológico promovido por cada tipo de material.

Este estudo parte do pressuposto de que os materiais didáticos refletem concepções epistemológicas que podem impactar significativamente a maneira como os estudantes compreendem as Interações Intermoleculares (Mizukami, 1986). Assim, o objetivo deste artigo é investigar o Perfil Epistemológico mobilizado em livros didáticos do PNLD, materiais do Ensino Superior e Obras Históricas, buscando mapear as zonas filosóficas presentes no tratamento dado ao conhecimento químico a partir do recorte no conceito de Interações Intermoleculares. Ao confrontar essas diferentes abordagens, esperamos contribuir para uma compreensão mais ampla dos fundamentos epistemológicos que sustentam os materiais didáticos, e, por conseguinte, fomentar discussões que possam colaborar, a partir de uma discussão epistemológica, com as formas de pensar sobre o Ensino de Química.

Referencial teórico

A epistemologia bachelardiana surge no contexto das transformações no pensamento científico no final do século XIX e início do século XX, com destaque para a teoria da relatividade, a física quântica e as geometrias não euclidianas. Bachelard (1996) propôs que o desenvolvimento do pensamento científico pode ser dividido em três momentos: o estado pré-científico, que vai da antiguidade até o século XVIII; o estado científico, que se estende do final do século XVIII ao século XX; e o novo espírito científico, iniciado com as publicações de Einstein em 1905. Para Bachelard, a Ciência é caracterizada por uma constante ruptura com o senso comum, o que permite a criação de novos conhecimentos, progressivamente mais abstratos e distantes da realidade imediata (Bachelard, 1996). Essa perspectiva filosófica desafia a visão ingênua e empírica do mundo, como ocorre com conceitos derivados da Mecânica Quântica, como as Interações Intermoleculares, que exigem uma compreensão mais abstrata.

A análise da Ciência contemporânea, para Bachelard, vai além da simples acumulação de dados, sendo um processo de reorganização e reinterpretação do saber. O cientista não descobre algo completamente novo, mas aprimora e reorganiza o conhecimento existente, promovendo uma evolução qualitativa na compreensão de seu campo (Santos; Nagashima, 2015). Esse processo é marcado pela ruptura epistemológica, um conceito central na epistemologia bachelardiana, onde cada nova descoberta questiona e reinterpreta os conhecimentos anteriores. Assim, os erros se tornam importantes fontes de aprendizado e avanço, já que o progresso científico ocorre por meio do questionamento constante e da correção de falhas (Bachelard, 1991).

No Ensino de Química, especialmente ao abordar conceitos como as Interações Intermoleculares, os alunos enfrentam dificuldades devido ao alto nível de abstração desses conceitos, típicos da Mecânica Quântica. Bachelard (1991) observa que a dificuldade em compreender a Química moderna deriva da exigência que essa própria Ciência traz a partir do início do século XX, necessitando mais do que a simples memorização, demandando uma abordagem teórica e matemática que está distante da percepção do senso comum, rompendo com a visão intuitiva sobre as substâncias e suas propriedades.

Segundo Bachelard (1991), o conhecimento científico não pode ser entendido de forma linear ou contínua, mas como uma série de rupturas que reorganizam a compreensão das Ciências. Essas rupturas refletem o desenvolvimento do que ele chamou de Perfil Epistemológico (Figura 1), que é composto por diferentes zonas filosóficas, cada uma representando uma forma distinta de pensar a Ciência. O Realismo Ingênuo, por exemplo, está relacionado ao senso comum, onde as ideias sobre o mundo são formadas sem questionamento. O Empirismo introduz a relação com a experiência sensível, mas ainda sem uma racionalização profunda dos conceitos. Já o Racionalismo Clássico, o Racionalismo Completo eleva o nível de abstração, enquanto o Racionalismo Discursivo reflete a complexidade do pensamento científico, que combina dedução e indução de maneira dialética (Bachelard, 1991).

Figura 1: Perfil epistemológico de Bachelard para o conceito de massa.



Fonte: (BACHELARD, 1991, p. 25).

Portanto, em sua obra chamada *A Filosofia do Não*, publicada originalmente no ano de 1940, Bachelard ilustra sua própria dispersão filosófica em relação aos conceitos de massa e energia, representada na Figura 1 (Bachelard, 1991). Nesta representação, o eixo x (horizontal) representa as filosofias, em ordem crescente do aumento da abstração, da esquerda para a direita, e o eixo y (vertical) as alturas das barras representam a importância ou presença relativa da filosofia para a definição do conceito investigado. O autor não aborda as categorias epistemológicas mencionadas anteriormente como obstáculos, pelo contrário, ele as considera como categorias filosóficas fundamentais para o avanço da compreensão do desenvolvimento de um conceito científico do Realismo Ingênuo ao Racionalismo Discursivo.

Esses níveis de complexidade ajudam a entender como a transformação do conhecimento, especialmente no campo da Química, vai além da experiência cotidiana, exigindo uma compreensão que se distancia do senso comum e se aproxima de um saber científico mais complexo.

De suas proposições voltadas ao conceito de massa, é possível que os conceitos de Interação Intermolecular sejam, por extensão, problematizados sob essa perspectiva, podendo ser assim sintetizadas:

Realismo Ingênuo: As Interações Intermoleculares são tratadas de forma intuitiva e sem explorar a complexidade científica por trás delas, de modo que o conteúdo é apresentado de maneira simples, com explicações que não questionam o senso comum.

Empirismo: o foco é a experiência sensorial, com explicações que abordam as Interações Intermoleculares a partir de observações diretas ou exemplos concretos, mas sem uma análise teórica mais profunda.

Racionalismo Clássico: as Interações Intermoleculares são tratadas com uma explicação mais estruturada e racional, possivelmente utilizando equações e modelos, mas ainda sem recorrer a abstrações matemáticas avançadas. Nesse nível, especialmente, os elementos matemáticos e físicos recorrem ao pressupostos newtonianos para sua organização.

Racionalismo Completo: o conceito de Interações Intermoleculares é discutido de forma mais abstrata, utilizando modelos teóricos complexos e relações matemáticas que vão além do senso comum, com uma maior sofisticação na explicação, de forma mais complexa e aprofundada.

Racionalismo Discursivo: esse nível, transcende a mera descrição fenomenológica, permitindo a construção de modelos conceituais que integram aspectos empíricos e teóricos de maneira dialética. Por exemplo, ao considerar interações como as de van der Waals, o Racionalismo Discursivo não se limita a descrevê-las como resultantes de flutuações eletrônicas, mas explora como essas forças se inserem em uma rede de relações entre propriedades moleculares, como polarizabilidade, energia de ligação e distribuição de carga. Esse enfoque promove a análise crítica e a reinterpretação contínua desses conceitos, utilizando ferramentas matemáticas e computacionais modernas, como a teoria do funcional da

densidade (DFT) e simulações moleculares, que permitem prever comportamentos moleculares além da observação direta.

Metodologia

A presente pesquisa é de natureza qualitativa, orientada pela análise de conteúdo proposta por Bardin (1977), que oferece ferramentas metodológicas para interpretar mensagens de forma sistemática e organizada. Consideramos esse método adequado para explorar os significados implícitos nas concepções epistemológicas presentes nos materiais didáticos analisados.

O corpus da pesquisa foi composto por três tipos de materiais: LDs do PNLD, que tendem a ser utilizados em sala de aula, livros de Ensino Superior, amplamente utilizados em cursos de Química, e Obras Históricas, que abordam o conceito de Interações Intermoleculares e permitem relações históricas de modificação e trabalho com esse conceito. Esses materiais foram selecionados com base em critérios como relevância do conteúdo relacionado às Interações Intermoleculares, acessibilidade das obras e alinhamento com os objetivos da pesquisa.

A análise seguiu três etapas principais. Iniciando pela pré análise em que os livros foram lidos de forma exploratória para identificação de aspectos gerais e trechos relevantes relacionados ao conceito de Interações Intermoleculares. Posteriormente, a exploração dos materiais, etapa que os dados foram codificados e categorizados *a priori* a partir de dimensões teóricas relacionadas às zonas filosóficas mobilizadas, como realismo, empirismo e os racionalismos. E, por fim, as informações obtidas foram analisadas para identificar padrões, lacunas e suas implicações no perfil epistemológico promovido pelos materiais didáticos.

No PNLD, buscamos os livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do PNLD de 2021, que representam o primeiro edital de livros para o novo Ensino Médio. Para acessar esses materiais, consultamos o guia digital do PNLD 2021 de obras didáticas por áreas do conhecimento e especificidades, onde encontramos 7 coleções disponíveis. Cada coleção é composta por 6 livros, totalizando 42 volumes. Após a primeira etapa da análise, foram selecionados um total de 24 livros, que resultaram em 483 unidades.

Para a seleção dos LDs do Ensino Superior, solicitamos à Biblioteca do Campus Capão do Leão (BCCL) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) uma lista dos livros mais frequentemente retirados, justificando essa escolha pela proximidade geográfica do grupo de pesquisa. A seleção dos LDs foi realizada com base nessa lista, optando pelos dois livros mais retirados em cada área específica da Química (Química Analítica, Química Inorgânica, Físico-química, Química Orgânica e Bioquímica). Além dessas áreas, também foram selecionados livros focados em Química Geral, com cinco obras, duas delas com volumes 1 e 2, dada sua abrangência de conceitos, totalizando 17 obras analisadas. No entanto, ao realizar uma análise preliminar de cada livro a partir do índice remissivo, observamos que nem todos abordavam de forma aprofundada os conceitos de Interação Intermolecular. Dessa forma, 9 LDs foram excluídos da análise por não apresentarem os conceitos buscados, resultando em um total de 8 LDs considerados na análise, com um total de 249 unidades oriundas desses materiais.

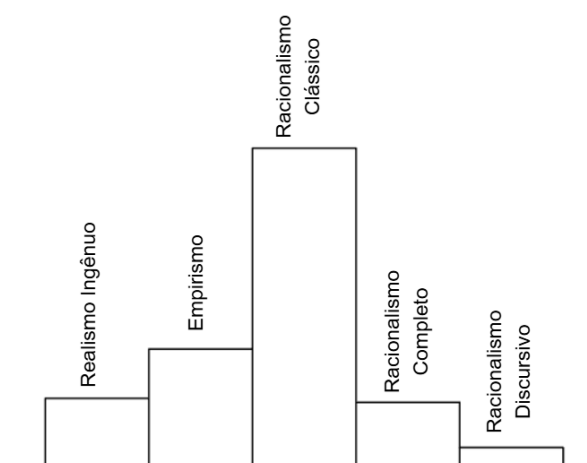
Para a escolha das Obras Históricas, foram selecionados livros entre o período de 1850 a 1960, realizamos o recorte neste período por ser a época em que as discussões sobre o conceito começaram a ser mobilizadas. Os critérios prévios incluíam a presença dos termos Coesão/Coesão, Forças de Van der Waals e Ligações de Hidrogênio. Nesse sentido, primeiramente, realizou-se uma seleção de livros históricos presentes nos acervos de universidades do Rio Grande do Sul, a saber: Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS). Mediante esse processo, 36 livros foram selecionados. No entanto, apenas 7 desses livros continham trechos que abordavam os conceitos de Interação Intermolecular, resultando em um total de 52 unidades.

Posteriormente, na etapa de codificação e unitarização, realizamos a construção das unidades, onde classificamos os materiais como Educação Básica (EB), Ensino Superior (ES) e as Obras Históricas (OH), “L” representa o livro analisado e “U” a unidade em discussão e a categorização com base nas zonas filosóficas propostas por Bachelard (1991). Essa abordagem permitiu mapear como as concepções epistemológicas subjacentes nos materiais didáticos impactam a formação dos futuros professores de Química, especialmente no que se refere ao ensino do conceito de Interações Intermoleculares.

A Química ensinada é clássica

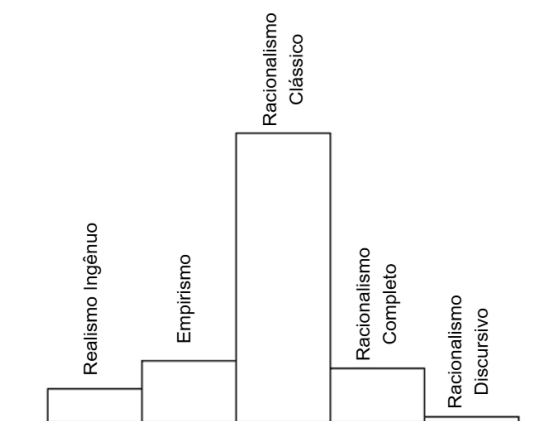
Nas diversas investigações conduzidas ao longo deste estudo, abrangendo os diferentes materiais explorados (PNLD, Ensino Superior e obras históricas), tornou-se viável a construção esquemas de representação fundamentados nas concepções de Bachelard (Figuras 2, 3 e 4), com base em suas noções do Perfil Epistemológico. Assumindo as relações de recorrência quantitativa nos processos de unitarização e de centralidade das discussões, numa relação tanto quantitativa quanto qualitativa, as imagens, inspiradas em Bachelard (1991), a respeito da forma como os conceitos de Interações Intermoleculares se desenvolvem nos materiais analisados, são apresentadas a seguir:

Figura 2: Representação do Perfil Epistemológico dos livros do PNLD.



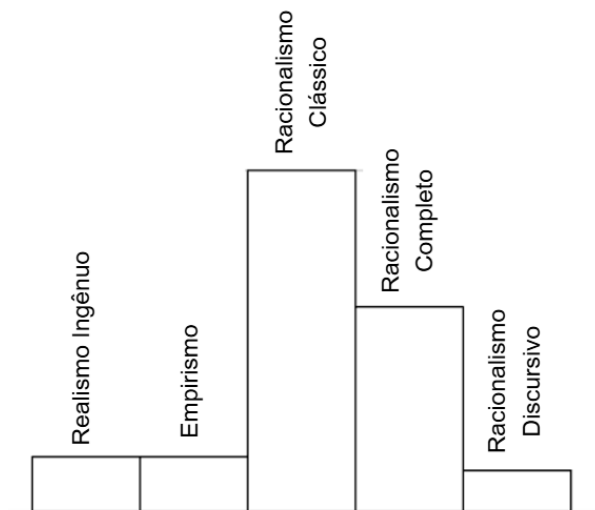
Fonte: própria.

Figura 3: Representação do Perfil Epistemológico dos livros do Ensino Superior.



Fonte: própria.

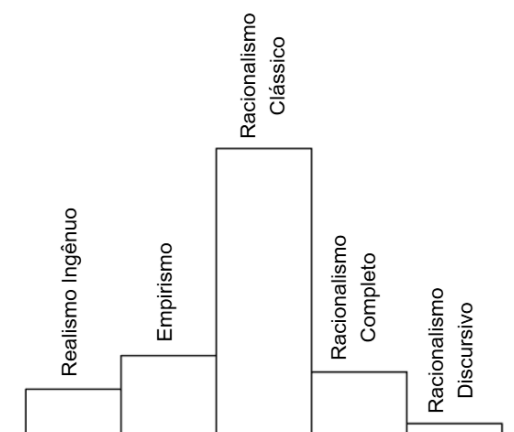
Figura 4: Perfil epistemológico dos livros do Obras Históricas.



Fonte: própria.

De maneira geral, ao sintetizar essas investigações, é possível conceber uma abordagem que combina elementos quantitativos e, sobretudo, qualitativos. Nesse sentido, pode-se estabelecer uma analogia com o gráfico apresentado por Bachelard (1991) em sua interpretação do conceito de massa. Assim, no contexto do nosso estudo, tal síntese pode ser representada pela Figura 5, que integra e articula os elementos apresentados nas Figuras 2, 3 e 4.

Figura 5: Representação do Perfil Epistemológico da síntese dos materiais do PNDL, Ensino Superior e Obras Históricas.



Fonte: própria.

Embora este não seja um estudo de caráter predominantemente quantitativo, utilizamos uma padronização em porcentagem para a construção das figuras apresentadas, com o objetivo de facilitar a visualização dos dados que compõem o

corpus de análise. Essa abordagem gráfica, no entanto, não se concentra na análise quantitativa em si, uma vez que as discussões propostas possuem outro enfoque.

Os resultados desta investigação indicam que, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos, a Química apresenta um caráter fundamentalmente clássico. Nos livros históricos, essa ênfase na Química clássica não configura um problema, considerando o contexto temporal em que foram produzidos. Contudo, nos livros atuais, como os do PNLD e do Ensino Superior, a permanência desse paradigma clássico, embora valorize aspectos relevantes na construção dessa Ciência, não promove avanços significativos rumo a uma nova abordagem da Química. Essa nova abordagem poderia estabelecer diálogos mais profundos com o cotidiano, bem como refletir os desenvolvimentos recentes da pesquisa na área.

Evidenciamos isso com os resultados que demonstram uma Química fundamentalmente pautada no mecanicismo newtoniano, por exemplo, nas unidades que serão citadas a seguir. Destacamos que nenhuma das discussões desses trechos está trazendo elementos de um Racionalismo Discursivo que aborda um ente puramente abstrato ou equacional, com exceção de poucos trechos, como na unidade OHL22U13 em que o autor apresenta uma análise complexa sobre a ligação de hidrogênio, destacando tanto suas características experimentais quanto as implicações teóricas, incluindo uma menção à mecânica ondulatória e a discussão sobre a dicovalência do hidrogênio. Ao explorar a mecânica ondulatória como explicação para as limitações da dicovalência do hidrogênio, sugere uma abordagem que combina teoria e prática, integrando conceitos científicos mais avançados de uma maneira que exige uma análise crítica do fenômeno químico. Ou na unidade ES L1U49, que o trecho oferece uma explicação aprofundada e fundamentada integrando teoria e observação experimental (como as distâncias de ligação e as características da interação entre as moléculas). Além disso, a explicação não apenas descreve o fenômeno, mas também discute sua intensidade e sua relevância na estrutura da água, combinando raciocínio teórico com exemplos práticos.

Conforme evidenciado pelos exemplos analisados, as ocasiões em que uma unidade foi categorizada como representativa do Racionalismo Discursivo estão majoritariamente associadas às discussões sobre ligações de hidrogênio. Contudo, mesmo nessas unidades, observou-se uma redução significativa na amplitude e profundidade da abordagem sobre o tema.

Considerando a análise de todos os materiais, observa-se que a zona mais predominante é a do Racionalismo Clássico, manifestando-se em trechos como:

Tanto nas moléculas apolares quanto nas polares, bem como nos átomos de gases nobres isolados, a movimentação dos elétrons pode gerar, em certo momento, um aumento da densidade eletrônica em determinada região da espécie química. Assim, a distribuição de elétrons não é homogênea, e forma-se um dipolo elétrico instantâneo. Esse dipolo induz a formação de novos dipolos elétricos nas espécies químicas que estão próximas. Os dipolos induzidos se orientam no espaço e interagem, atraindo-se uns aos outros (EB L4U8).

Assim, o conceito de dipolos instantâneos e induzidos, com a descrição de como a movimentação dos elétrons pode gerar variações na densidade eletrônica e causar Interações Intermoleculares, é explicado de forma estruturada e racional, utilizando uma abordagem que integra fenômenos fundamentais da física e da química. A explicação envolve um entendimento mais profundo sobre a natureza das Interações Intermoleculares, mas ainda se baseia em conceitos e modelos acessíveis sem recorrer a abstrações matemáticas avançadas ou complexidade teórica maior. Esse tipo de análise busca estruturar uma explicação científica que, embora sólida, permanece dentro de uma abordagem conceitual mais simples e direta, sem a profundidade abstrata encontrada nas zonas mais avançadas.

Outra unidade possível de observar características que assumimos como pertencentes ao Racionalismo Clássico é a unidade:

quanto maior a polarizabilidade de uma molécula, mais facilmente sua nuvem eletrônica será distorcida para dar um dipolo momentâneo. Dessa forma, moléculas mais polarizáveis têm forças de dispersão de London mais fortes (ESL2U39).

A afirmação discutida nesse trecho faz uso de uma explicação lógica para descrever como a distorção da nuvem eletrônica afeta as Interações Intermoleculares, em particular, as forças de London. Embora essa explicação seja racional e não se atenha a uma descrição intuitiva ou meramente empírica, ela não envolve modelos teóricos complexos nem equações avançadas, mas sim uma interpretação estruturada de como uma propriedade molecular pode afetar as interações, assim, mantendo-se dentro dos limites do Racionalismo Clássico.

Outro exemplo categorizado dentro dessa zona filosófica é o trecho identificado como:

Outros tipos de atrações eletrostáticas. Você pode distinguir um certo número de atrações eletrostáticas que são ainda mais excitadas do que aquelas que se apresentam em componentes iônicos típicos. Essas ações estão sujeitas

a dipolos. Um dipolo químico é produzido entre átomos quando há uma distribuição precisa de carga na molécula. Esta distribuição pode se apresentar em uma molécula diatômica como consequência de diferenças entre as eletronegatividades de ambos os átomos, ou em uma molécula poliatômica angular quando se apresenta em diferenças analógicas. Entrar em um dipolo é uma substância que não é iônica, em que um extremo representa uma carga positiva ou negativa em relação ao outro. A magnitude deste produto da carga é expressa em função do momento dipolar (μ), dos dipolares têm magnitudes da ordem de 10^{-18} unidades eletrostáticas (1×10^{-18} ues = 1 Debye ó 1 D) (OHL6U1).

Observa-se nessa unidade e suas análogas uma recorrência de um fisicismo clássico. Nele, as interações são transladadas a elementos de *força*, centralmente a eletrostática. Nesse caso, os cálculos que as descrevem serão eminentemente clássicos, de modo que a relação coulombica de cargas, assim como sua análoga newtoniana de forças, poderá ser empregada em algum momento para mensurar tais elementos.

Tais unidades se destacam principalmente quando se evidenciam outras que delas se diferenciam em termos de suas zonas. Houve unidades que indicavam a zona do Realismo Ingênuo, que assumimos, segundo Bachelard (1991), como zonas filosóficas que não se extinguem, mas se modificam e ganham mais ou menos proporção conforme o momento de estudo. Assim, embora menos utilizadas, encontramos trechos do Realismo Ingênuo em todos os livros, como, por exemplo:

Uma interação intermolecular significa que as moléculas se atraem ou se repelem eletricamente, sem que ocorra o rompimento ou a formação de novas ligações químicas (EBL3U17).

O conteúdo apresentado aqui é simplificado e faz uma explicação intuitiva sobre as Interações Intermoleculares, associando-as à atração ou repulsão elétrica entre moléculas. No entanto, o texto não entra em detalhes mais complexos ou científicos, como os tipos específicos de Interações Intermoleculares ou a explicação das forças que regem esses fenômenos. Além disso, a distinção entre Interações Intermoleculares e Ligações Químicas é feita de maneira direta e sem aprofundamento teórico. De forma similar identificamos a unidade OH L21U1 “Os átomos unem-se uns aos outros por meio de uma força chamada afinidade, formando a molécula. As moléculas ligam-se entre si por intermedio de uma outra força denominada coesão”. A noção de afinidade entre átomos e coesão entre moléculas é apresentada de maneira intuitiva, sem a explicação dos processos químicos e das forças subjacentes que envolvem essas interações. Não há menção a modelos teóricos, forças específicas (como forças de van der Waals ou ligações de hidrogênio),

ou uma reflexão sobre como essas interações ocorrem a nível molecular ou atômico de forma detalhada. Dessa forma, essa explicação caracteriza o Realismo Ingênuo, que lida com a Ciência de forma mais direta, sem explorar a complexidade científica subjacente ao fenômeno. Assim como na unidade ESL1U8, a qual afirma que “sem as forças entre as moléculas, nossa carne se separaria dos ossos e os oceanos virariam gás”. Além dessa abordagem ser simplificada, também é carregada de analogias intuitivas, conectando o conceito de Interações Intermoleculares a situações do cotidiano sem qualquer fundamentação científica ou detalhamento teórico. Portanto, essa forma de apresentação visa à compreensão básica e imediata, típica do senso comum, característica dessa zona epistemológica.

Outra zona filosófica identificada nesta análise é que se distingue da noção do Racionalismo Clássico e, desse modo, marca ainda mais a presença deste, é a do Racionalismo Completo. Essa abordagem, embora menos frequente, está presente em unidades pertencentes aos três diferentes tipos de materiais analisados, evidenciando um padrão transversal na apresentação de conceitos químicos.

O Racionalismo Completo se caracteriza por integrar aspectos concretos e abstratos, promovendo uma articulação entre representações experimentais e teóricas mais complexas. Ele transcende a mera descrição de fenômenos ao conectar princípios fundamentais com uma compreensão mais ampla e contextualizada da Química, uma vez que traz maiores relações e não se limita a elementos unicamente newtonianos.

Como exemplo de trecho categorizado nessa zona filosófica, destacamos a unidade OHL4U3:

Para que a afinidade química possa ser exercida livremente, os corpos devem ser desintegrados, e sendo esta desintegração apenas obtida de forma incompleta por pulverização mecânica, devem ser levados ao estado líquido ou ao estado líquido gasoso. Os antigos químicos expressaram este fato dizendo: *Corpora non agunt, nisi soluta*. Em muitos casos, é suficiente que um dos corpos seja levado ao estado líquido ou gasoso.

A explicação sobre a afinidade química e a necessidade de que os corpos sejam desintegrados ou levados ao estado líquido ou gasoso para que a afinidade química se exerça livremente está mais próxima de um Racionalismo Completo. Ela apresenta uma análise mais profunda, não apenas explicando o fenômeno, mas

relacionando-o com o estado físico dos corpos. Além disso, a citação dos antigos químicos e o conceito de "Corpora non agunt, nisi soluta" trazem um nível de abstração que vai além de uma simples explicação empírica, se aproximando da lógica e da teoria envolvidas nas reações químicas. Esse nível de análise é típico de uma abordagem mais avançada, que começa a incorporar princípios e modelos teóricos para fundamentar os fenômenos observados. Além disso, identificamos que, em diversos casos, as teorias que historicamente, poderiam ser compreendidas dentro da zona completa, são simplificadas e recontextualizadas sob uma perspectiva clássica, dentro do perfil da obra, que tem um caráter didático.

Dando continuidade às discussões sobre a análise realizada, observa-se, conforme ilustrado na Figura 6, que a segunda zona filosófica mais recorrente no corpus de análise é o Empirismo. Essa zona se caracteriza pela valorização da observação e da experimentação como principais fontes de conhecimento, destacando-se nos materiais analisados por meio de abordagens que privilegiam descrições práticas e fenômenos diretamente observáveis.

A presença significativa do Empirismo reforça a ênfase em métodos experimentais e na relação direta com dados sensoriais, o que, em certa medida, limita a exploração de aspectos teóricos e conceituais mais abstrato, conforme é possível observar na Figura 6:

Figura 6: unidade que representa a categoria do Empirismo.

:: Gases e a teoria cinética

Os gases são substâncias que não apresentam forma nem volume definidos. As substâncias na fase gasosa apresentam seus átomos ou suas moléculas bem afastadas umas das outras, ou seja, as interações **intermoleculares** são quase nulas e, por isso, os gases se expandem por todo o recipiente que os contém, como no caso do gás que enche os balões mostrados na **Figura 1.4**.



Figura 1.4 O gás se expande pelo balão, tomando a sua forma.

Fonte: EBL2U6.

A partir da imagem apresentada, a explicação sobre gases e Interações Intermoleculares se refere ao comportamento das moléculas na fase gasosa, destacando que essas interações são "quase nulas" e usando um exemplo concreto (balões) para ilustrar o conceito. Com base nas zonas epistemológicas de Bachelard, essa abordagem se encaixa no Empirismo, pois utiliza uma explicação fundamentada em observações diretas e exemplos sensoriais (o gás expandindo-se para preencher o balão), sem aprofundar na teoria ou modelos mais complexos. Essa classificação é justificada pela ênfase na experiência prática e na conexão direta entre o fenômeno observado e sua explicação, sem recorrer a abstrações matemáticas ou teorias mais sofisticadas.

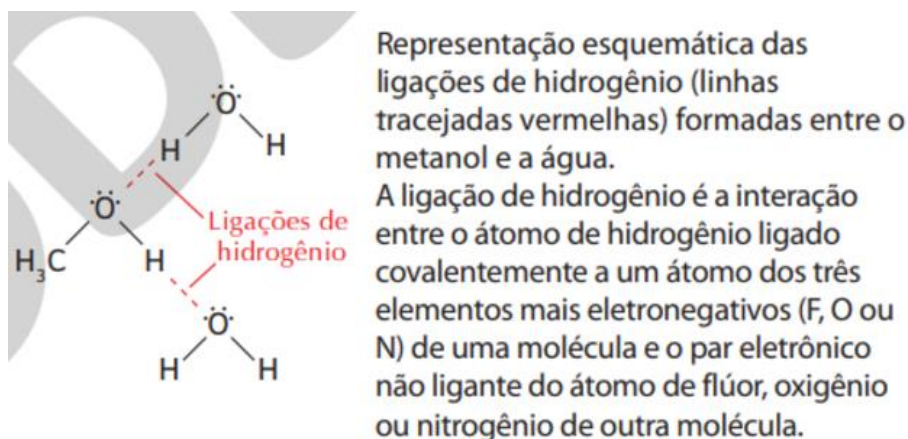
Outro exemplo dessa zona é a unidade ESL2U46, em que a classificação dessa unidade no Empirismo deve-se ao fato de que a explicação se baseia em propriedades observáveis da água, como o ponto de fusão, o calor específico e o calor de vaporização, conectando essas características à força das Interações Intermoleculares de forma direta e concreta. A análise é centrada em aspectos sensoriais e mensuráveis, como a alta intensidade das forças intermoleculares em H_2O , sem explorar teorias mais profundas ou abstrações matemáticas. Dessa forma, a abordagem se limita a descrever fenômenos com base em observações diretas, sem envolver modelos teóricos ou deduções mais elaboradas que expliquem o porquê dessas propriedades de maneira mais abrangente. Essa simplicidade e vínculo com o mundo sensorial são características centrais da zona epistemológica do Empirismo.

As obras históricas representaram o material com o menor número de unidades categorizadas nesta zona filosófica. Entretanto, um exemplo que ilustra como essas questões foram abordadas nesses livros pode ser encontrado no trecho identificado como OHL7U2, no qual se apresenta a afirmação de que "os corpos, mesmo os mais compactos na aparência, apresentam poros em toda a sua extensão" reflete uma observação empírica sobre a estrutura molecular dos corpos, baseada na experiência e na percepção de fenômenos observáveis, como os espaços entre as moléculas, e uma busca por sistematização de sua explicação. A ideia de que as moléculas não se tocam e deixam "espaços" ou "poros" é uma explicação mais sensorial e baseada em observações que podem ser verificadas com o uso de instrumentos, mas não envolve uma análise teórica profunda nem uma modelagem matemática avançada. Essa explicação não apresenta uma abordagem teórica ou abstrata sobre o comportamento

molecular, mas simplesmente observa um fenômeno físico que pode ser verificado empiricamente. Assim, a explicação se mantém dentro do Empirismo, onde a experiência e as observações diretas são o foco principal, sem aprofundamento nas relações teóricas subjacentes.

Ademais, além dos exemplos previamente analisados e categorizados como pertencentes ao Racionalismo Clássico, essa zona filosófica também abrange unidades associadas a representações, tais como a Figura 7:

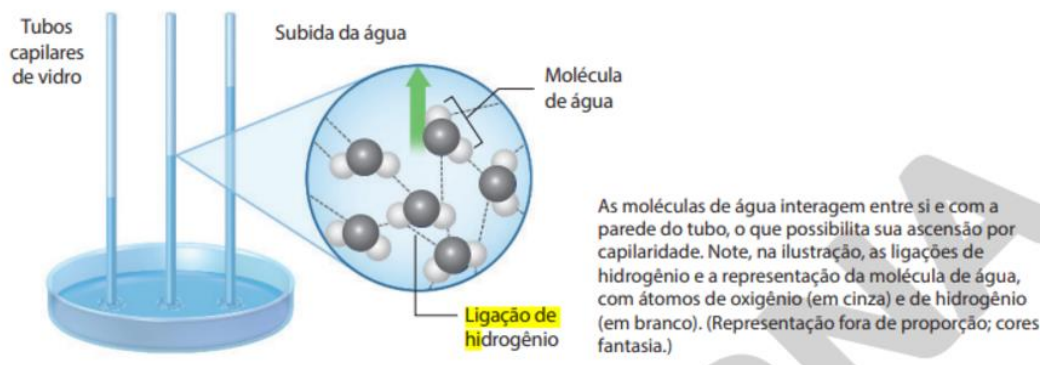
Figura 7: unidade que representa a categoria Racionalismo clássico.



Fonte: EBL3U20.

Na representação apresentada, a explicação das ligações de hidrogênio entre metanol e água é feita de forma esquemática e textual, destacando os elementos químicos envolvidos e as condições necessárias para a formação dessas Interações Intermoleculares. Essa abordagem se enquadra na zona do Racionalismo Clássico. A justificativa para essa classificação é a combinação de uma explicação mais estruturada e baseada em um modelo químico (representação molecular com ligações e polaridade), que apresenta certa abstração e fundamentação teórica, mas ainda sem recorrer a modelos matemáticos avançados ou uma análise mais profunda do fenômeno. Outro exemplo de unidade que explora as ligações de hidrogênio e que categorizamos na zona do Racionalismo Clássico é a Figura 8:

Figura 8: unidade que representa a categoria Racionalismo clássico.

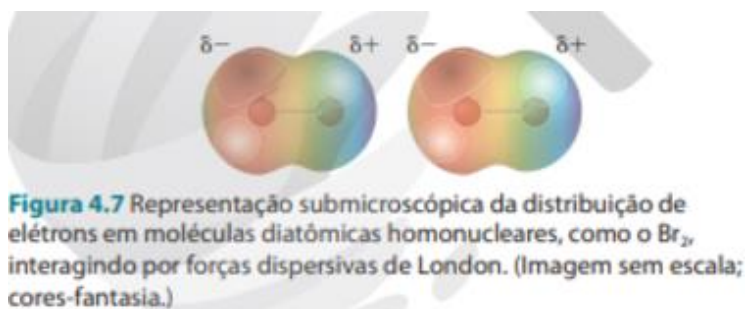


Fonte: EBL11U6.

A Figura mostra um exemplo de ascensão da água por capilaridade, explicando como as moléculas de água interagem entre si e com a parede do tubo. As ligações de hidrogênio são destacadas, com a representação das moléculas de água, e a legenda explica a Interação Intermolecular e a ascensão da água. Portanto, assumimos que esse tipo de explicação pode ser classificado na zona do Racionalismo Clássico, pois apresenta a teoria de forma lógica, conectando as ligações de hidrogênio às propriedades observáveis da água (como a capilaridade). A explicação vai além de uma descrição simples, ao relacionar diretamente a interação molecular com um fenômeno físico específico, sem recorrer a modelos matemáticos complexos ou abstrações muito profundas.

Ainda, acerca dessas discussões encontramos no EBL4U9 a Figura 4:

Figura 4: Unidade que representa a categoria Racionalismo clássico.



Fonte: L4U9.

Essa figura representa as forças de dispersão de London em moléculas diatômicas homonucleares, como o bromo, destacando a distribuição submicroscópica de elétrons e as cargas parciais geradas por flutuações temporárias.

Essa abordagem se encaixa na zona do Racionalismo Clássico, pois utiliza um modelo explicativo visual (representação esquemática com diferenciação de cargas parciais) para descrever um fenômeno químico. Há uma base teórica que fundamenta a explicação (distribuição eletrônica e forças intermoleculares), porém, a abordagem é direcionada para transmitir conceitos sem recorrer a detalhamentos matemáticos ou abstrações mais profundas, que seriam características de um Racionalismo Completo.

Conforme conseguimos identificar através das discussões anteriores, os materiais investigados mobilizam prioritariamente a zona do Racionalismo Clássico. Isso significa que esses materiais privilegiam uma abordagem que enfatiza a lógica e a razão como ferramentas centrais para compreender e explorar conceitos científicos. Nesse contexto, os diferentes livros tendem a apresentar os conteúdos de forma sistematizada e estruturada, destacando leis, teorias e princípios consolidados no campo da Ciência. Porém, a abordagem pelo Racionalismo Clássico em linhas gerais implica uma valorização das generalizações e das explicações causais, frequentemente apoiadas por modelos matemáticos ou dedutivos. Dessa forma, essa zona filosófica significa a apresentação de um certo nível de complexidade, mas ainda sem muito aprofundamento.

Considerações finais

A Química produzida e divulgada até o momento presente em materiais de grande circulação no contexto formativo das ideias dessa Ciência, conforme indicado por este estudo, evidencia um caráter fundamentalmente clássico. Analisando materiais de diferentes fontes como o PNLD, o Ensino Superior e obras históricas, foi possível construir gráficos que refletem as concepções de Bachelard sobre o Perfil Epistemológico, destacando as zonas filosóficas predominantes de cada unidade individualmente. Esses gráficos, evidenciam uma predominância da zona do Racionalismo Clássico em todos os contextos do fragmento analisados.

Assim, esses materiais, embora valiosos por consolidarem aspectos fundamentais da Ciência, não promovem um avanço significativo rumo a novas abordagens que dialoguem mais diretamente com o cotidiano ou que incorporem os recentes desenvolvimentos da pesquisa na área. A persistência desse modelo clássico, com um enfoque predominantemente no mecanicismo newtoniano, não

explora em profundidade aspectos mais abstratos ou teorias avançadas que poderiam enriquecer o entendimento e a aplicabilidade dos conceitos químicos.

A análise mostra que, embora algumas unidades dentro desses materiais demonstrem um movimento tímido em direção ao Racionalismo Completo, que integra aspectos concretos e abstratos da Ciência, exemplos como a análise sobre a dicovalência do hidrogênio — onde se explora a mecânica ondulatória e suas implicações teóricas — sinalizam um esforço em incorporar uma visão mais integrada entre teoria e prática. Essa abordagem mais avançada, ainda que esparsa, aponta para uma possível mudança num modo de compreender e de produzir a Química, ao combinar representações experimentais com uma compreensão teórica mais abrangente. No entanto, esses momentos são exceções dentro de um quadro maior de predominância do Racionalismo Clássico, indicando que há um caminho a ser percorrido para que a Química, nos diferentes contextos em que ela é apresentada e, logo, produzida, principalmente no nível superior, se alinhe com as demandas atuais por uma formação mais crítica e contextualizada.

Portanto, a persistência do Racionalismo Clássico nos materiais analisados traz efeitos aos modos de olhar para o ensino dessa área. Evidencia-se uma resistência à mudança, que também se evidenciará no Ensino de Química. Para promover avanços na formação dos futuros educadores e cientistas, é importante que os materiais de acesso a essa Ciência evoluam para integrar um Racionalismo Discursivo mais amplo, que abrace tanto a lógica empírica quanto as complexidades das teorias modernas. Tal transformação não só enriqueceria o entendimento dos conceitos químicos, como também promoveria uma abordagem mais crítica e dialógica, preparando os alunos para lidar com as questões científicas do presente e do futuro.

As implicações da predominância da zona filosófica clássica na Química atual transcendem o âmbito educacional, refletindo-se diretamente na maneira como a Ciência Química é compreendida e aplicada na sociedade contemporânea. A manutenção desse paradigma pode inclusive revelar uma lacuna na formação de futuros profissionais e educadores, limitando a capacidade de interagir criticamente com avanços tecnológicos e científicos que dependem de abordagens mais abstratas e integrativas. Tecnologias emergentes, como a inteligência artificial e a computação quântica, exemplificam essa necessidade: ambas dependem de conceitos e ferramentas que remetem ao Racionalismo Completo ou mesmo a zonas discursivas

que integram elementos teóricos, matemáticos e experimentais de maneira dinâmica. A inteligência artificial, por exemplo, utiliza algoritmos baseados em álgebra linear e cálculo matricial, fundamentos que estão na base da física e da química quântica. A abordagem clássica, que simplifica ou negligência esses aspectos, pode formar profissionais que têm dificuldade em dialogar com áreas interdisciplinares, essenciais no contexto científico atual. Da mesma forma, a aplicação de modelos computacionais na química, como simulações moleculares e análise de dados, demanda uma formação que transcenda o mecanicismo clássico para incluir abstrações matemáticas e representações avançadas.

Assim, assumimos que para que a Química avance como disciplina formativa (independentemente de ser na Educação Básica ou no Ensino Superior), pode ser potente reconhecer a necessidade de ampliar as abordagens filosóficas dos materiais didáticos, de forma a incluir perspectivas que conectem o aprendizado teórico e prático as discussões da Ciência contemporânea.

Referência

- AMARAL, T. V. P. do. **Elementos de Chemica Inorganica para alunos d'esta disciplina nos gymnasios e escola superiores da republica**. 4. ed. Rio Janeiro: Imprensa Nacional, 1921.
- BACHELARD, G. **A Filosofia do Não: filosofia do novo espírito científico**. Trad. Joaquim José Moura Ramos. (5ª edição ed.). Lisboa: Editorial Presença, 1991.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo. **Lisboa: edições**, v. 70, p. 225, 1977.
- MACIEL, M. **Elementos de Chimica Geral Baseados nas modernas aquisições scientificas refundidos e adaptados aos programa de admissão às Escolas Superiores**. 2. ed. Rio Janeiro: Francisco Alves, 1913.
- MIRANDA, A. C. G. **Transição Progressiva dos modelos explicativos de estudantes do nível médio sobre Forças Intermoleculares**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, 2018.
- MIZUKAMI, M. da G. N. et al. **Ensino: as abordagens do processo**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.
- MOELLER, T. **Inorganic Chemistry**. Barcelona: Reverté, 873 p, 1956.
- PASCAL, P. **Chimie Générale**. 4. ed. Paris: Masson, 477 p, 1949.
- PUIG, I. **Curso Geral de Quimica**. 2. ed. Porto Alegre: Globo, 1932.
- REGNAULT, V. **Cours Élémentaire de Quimie**. 3. ed. Paris: Auguste Pagny Editora, 1851.
- SANTOS, M. D.; NAGASHIMA, A. L. A epistomologia de Gaston Bachelard e suas contribuições para o ensino de química. **Paradígma**, v. 36, n. 2, p. 37-46, 2015.

4 Considerações Finais sobre a Pesquisa de Mestrado

A presente dissertação teve como objetivo investigar o Perfil Epistemológico presente em materiais didáticos de Química, analisando como diferentes abordagens e compreensões sobre o conceito de Interações Intermoleculares são mobilizadas nesses recursos. Essa análise abrangeu livros do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), materiais destinados ao Ensino Superior e Obras Históricas, permitindo uma ampla visão das práticas epistemológicas que moldam o Ensino de Química.

Os resultados desta pesquisa destacam a predominância do Racionalismo Clássico como a principal zona filosófica presente nos materiais analisados. Essa constatação reflete uma abordagem que prioriza uma visão estruturada e sistemática do conhecimento químico, alinhada aos paradigmas tradicionais da ciência. Embora essa perspectiva ofereça clareza e rigor, ela também limita a exploração de outras zonas filosóficas que poderiam enriquecer a formação.

No primeiro artigo, foi possível diferenciar as noções de Perfil Epistemológico e Perfil Conceitual, destacando as especificidades de cada abordagem. Essa análise inicial foi essencial para estabelecer os fundamentos teóricos da dissertação e justificar a escolha do Perfil Epistemológico como o principal referencial desta investigação, visto que nosso objetivo se trata de investigar o conceito de Interações Intermoleculares nos materiais através de uma perspectiva epistemológica.

Portanto, salientamos que a decisão de utilizar o Perfil Epistemológico como metodologia central se fundamenta na busca por uma compreensão mais profunda de como os materiais exploram o conceito em si. Assim, a opção pelo Perfil Epistemológico não é apenas uma escolha metodológica, mas sim uma decisão estratégica, guiada pelo desejo de explorar e analisar de maneira mais aprofundada as perspectivas epistemológicas apresentadas, atentando-se no contexto das Interações Intermoleculares.

O segundo artigo contribuiu ao examinar o percurso epistemológico das Interações Intermoleculares, oferecendo uma visão histórica e filosófica da evolução desse conceito. Esse trabalho revelou a complexidade envolvida na construção do

conhecimento químico e a relevância de considerar a trajetória histórica dos conceitos para uma compreensão mais ampla e contextualizada do próprio conceito.

Os artigos subsequentes focaram na análise dos materiais didáticos, revelando padrões importantes. Nos livros do PNLD de 2021, identificamos uma abordagem voltada para a simplicidade e funcionalidade, com ênfase em aspectos técnicos e operacionais das Interações Intermoleculares. No entanto, essa abordagem frequentemente carece de discussões mais profundas sobre a natureza da ciência e os contextos históricos que sustentam os conceitos.

Nos materiais destinados ao Ensino Superior, observamos maior detalhamento técnico e uma apresentação mais rigorosa dos conceitos. No entanto, essas abordagens ainda seguem predominantemente um modelo clássico, priorizando a transmissão de conhecimento consolidado em detrimento da problematização e da construção de uma visão crítica sobre a ciência.

As obras históricas, por sua vez, trouxeram um panorama enriquecedor sobre o desenvolvimento do conceito ao longo do tempo. Apesar disso, identificamos que muitas vezes esses materiais falham em estabelecer conexões explícitas entre o contexto histórico e os conceitos modernos, o que reduz o potencial educativo dessas fontes para promover uma compreensão mais integrada da ciência.

O mapeamento final das zonas filosóficas, apresentado no sexto artigo, indicou a hegemonia do Racionalismo Clássico em todos os tipos de materiais analisados. Essa predominância aponta para uma formação química tradicional, que, embora sólida em sua base técnica, carece de flexibilidade para integrar perspectivas epistemológicas mais amplas e contemporâneas.

Esses resultados permitem a reflexão sobre questões relevantes sobre a própria formação em Química e suas implicações para o ensino. A centralidade do Racionalismo Clássico indica que, embora os materiais didáticos cumpram seu papel de fornecer um conhecimento estruturado, eles também podem restringir a capacidade dos estudantes de refletir criticamente sobre os conceitos e suas aplicações no mundo real.

A escassez de discussões sobre a natureza da ciência nos materiais didáticos analisados representa uma limitação. Reflexões mais profundas sobre o papel do

cientista, o processo de desenvolvimento de teorias e as implicações éticas e sociais da ciência são elementos essenciais para uma formação científica mais completa.

Portanto, nesta dissertação reforçamos a necessidade de reavaliar as abordagens epistemológicas presentes nos materiais didáticos de Química. Consideramos que deve haver a inclusão de perspectivas mais plurais e integradas, que contemplem tanto a tradição científica quanto as demandas contemporâneas por um ensino mais crítico e conectado com os desafios da sociedade atual.

Dessa forma, esperamos que esta pesquisa inspire futuras investigações sobre o Perfil Epistemológico articulado a aspectos que envolvem discussões do Ensino de Química, contribuindo para a ampliação das discussões e práticas pedagógicas nessa área. A pluralidade epistemológica, aliada a uma abordagem crítica e interdisciplinar, tem o potencial de transformar o Ensino de Química em um espaço mais dinâmico e relevante para a formação cidadã.

Por fim, esta dissertação reafirma o papel central dos materiais didáticos no processo educativo e a importância de alinhá-los às demandas contemporâneas de ensino. Assim, assumimos com esse estudo que integração de diferentes zonas filosóficas e a humanização da ciência são caminhos promissores para construir um Ensino de Química mais reflexivo, contextualizado e significativo.

Referências

- ABBAGNANO, N. Dicionário de Filosofia. 5ª edição. **Tradução da 1ª edição brasileira coordenada e revisada por Alfredo Bossi**, 2007.
- AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 3, 2001.
- AMARAL, T. V. P. do. **Elementos de Química Inorgânica para alunos d'esta disciplina nos gymnasios e escola superiores da republica**. 4. ed. Rio Janeiro: Imprensa Nacional, 1921.
- ATKINS, P.; DE P., J. **Físico-Química**. Bookman Editora, 2018.
- ATKINS, P.; DE PAULA, J. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o futuro do planeta**. 8. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2010.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química-: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Bookman Editora, 2012.
- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. Porto Alegre: ArtMed, 2018.
- Aurélio, E. **Dicionário eletrônico da língua portuguesa**. 5. ed. Curitiba: Positivo, 2019.
- BACHELARD, G. **A Filosofia do Não: filosofia do novo espírito científico**. Trad. Joaquim José Moura Ramos. (5ª edição ed.). Lisboa: Editorial Presença, 1991.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- Bachelard, G. **O racionalismo aplicado**. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: edições, v. 70, p. 225, 1977.
- BARRON, R. F.; NELLIS, Gr. F. **Cryogenic heat transfer**. CRC press, 2017.
- BECKER, F.; MARQUES, T. B. I. **Ser professor é ser pesquisador**. Mediação, 2010.
- BOHR, N. **Sobre a constituição de átomos e moléculas**. In: Textos Fundamentais da Física Moderna: II Volume. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 1963.
- BOOTH, A.; SUTTON, A.; PAPAIOANNOU, D. **Systematic approaches to a successful literature review**. SAGE Publications, 2016.
- BRADY, J.; SENESE, F. **Química: a Matéria e Suas Transformações**. 5.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2012.
- BRIZOLA, J.; FANTIN, N. **Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura**. Revista de Educação do Vale do Arinos-RELVA, v. 3, n. 2, 2016.
- BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. **Química: a ciência central**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- Cavalcanti, A. D. S.; Silva, M. D. F. V. D.; Macêdo, F. C. D. S. **Bases epistemológicas em educação em ciências: imagens da ciência e o processo de ensino-aprendizagem**. In *Conferencia de la asociación latino americana de investigación en educación en ciencias*, lasera. Anais, Manaus, 2013.
- CHAO, I. R. S.. **Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2006.
- CHASSOT, A. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. Ijuí: Unijuí, 2000.
- CINDRA, J. L.; TEIXEIRA, O. P. B. **Calor e temperatura e suas explicações por intermédio de um enfoque histórico**. Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro. Campinas: AFHIC, 2004.
- CLAUSIUS, R. J. E. **Ueber die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen**, 1857.
- CORRIERO, E C. **Libertà e conflitto: Da Heidegger a Schelling, per un'ontologia dinamica con un saggio di Manfred Frank**. Rosenberg & Sellier, 2020.

- COSTA, I. **Interação coulombiana em poço quântico sujeito a campo magnético**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, 1996.
- COUTINHO, F. A. **A construção de um perfil conceitual de vida**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais – Faculdade de Educação. 2005.
- CROTTY, M. **The foundation of social research: meaning perspective in the research process**. London: Sage, 1998.
- DA SILVA, K. S.; DA FONSECA, L. S.; DE FREITAS, J. D. **Uma breve história da Geometria Molecular sob a perspectiva didático-epistemológica de Guy Brousseau**. *Acta Scientiae*, v. 20, n. 4, 2018.
- DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. Q. **Historia y Filosofía de las Ciencias en la Educación Científica: ¿Para qué?** Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v.19, p. 77-95, 2017.
- DANTES, M. A. M. **Introdução: uma história institucional das ciências no Brasil**. Espaços da ciência no Brasil, v. 1930, p. 13-22, 1800.
- DAVIES, M.; HEISENBERG, W. K.; RUTHERFORD, E. **Peter Joseph Wilhelm Debye, 1884-1966**. 1970.
- DE SOUSA, B. M.; DA SILVA, J. P. S.; BALDINATO, J. O. **Experimentos históricos nos livros didáticos: implicações para o ensino de química**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 40, n. 2, p. 357-391, 2023.
- De Souza, N. A. **Do conhecimento literário: Ensaio de epistemologia interna dos estudos literários (crítica e poética)**, 2006.
- DEBYE, P. **Intermolecular Forces**. New York: Dover Publications, 1945.
- DEBYE, P. **Polar Molecules**. New York: Chemical Catalog Company, 1929.
- DELIZOICOV, D. **Problemas e problematizações**. In: Pietrocola, M. (Org.) Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.
- DORIGON, L. *et al.* **Perfil epistemológico para o conceito de transformações apresentado nos livros didáticos de química da 1ª série do ensino médio**. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 12, n. 1, 2019.
- Drayer, D. E. **The early history of stereochemistry: from the discovery of molecular asymmetry and the first resolution of a racemate by Pasteur to the asymmetrical chiral carbon of van't Hoff and Le Bel**. *Clinical Research and Regulatory Affairs*, 18(3), 181-203, 2001.
- ERCAN, G.; Cicekli, I. **Using lexical chains for keyword extraction**. *Information Processing and Management*, 43, 1705-1714, 2007.
- FERREIRA, G. M. P. **Proposta de um modelo físico facilitador para contextualização da Termodinâmica**. 2012.
- FILGUEIRAS, C. **A influência da Química nos saberes médicos acadêmicos e práticos do século XVII em Portugal e no Brasil**, *Química Nova*, v.16, n.2, 155- 160, 1993.
- FLEMING, H. **Forças de van der Waals**. Física moderna. Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada, Ensino de física online, 2003.
- GALINDO, A. G. G. **Linhas epistemológicas contemporâneas e a questão epistemológica**. Revista Portuguesa Interdisciplinar, 2(01), 63-96, 2021.
- GATTO, M. A. **O modelo atômico de Dalton: uma proposta de situação de estudo articulando história da ciência e ensino**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- GILLESPIE, R. J.; NYHOLM, R. S. **The theory of electron-pair repulsions**. *Transactions of the Faraday Society*, v. 53, p. 1961-1971, 1957.
- GIL-PÉREZ, D.; VILLANI, A. **As funções do ensino de ciências: Formação de cidadãos ou novos cientistas?** Revista Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências, v. 3, n. 1, p. 27-37, 1997.

- GLUSKER, J. P.; TRUEBLOOD, K. N. **Crystal Structure Analysis: A Primer**. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 2010.
- GONÇALVES, A. L. **Uso de resumos e palavras-chave em Ciências Sociais: uma avaliação**. *Encontros Bibli*, 13(26), 2008.
- GUIMARÃES, H. G. **A digressão acerca do conhecimento na Carta Sétima platônica e sua relação com Os Diálogos**, 2024.
- HEIDEGGER, M. **Ontologia. Hermenêutica da facticidade** (R. Kirchner, Trans.). Petrópolis: Vozes, 2013.
- HOWARD, B. C.; MCGEE, S.; SCHWARTZ, N.; PURCELL, S. **The experience of constructivism: Transforming teacher epistemology**. *Journal of Research on Computing in Education*, v. 32, n. 4, p. 455-465, 2000.
- ISRAELACHVILI, J. N. **Intermolecular and Surface Forces**. 3rd ed. Amsterdam: Academic Press, 2011.
- JASIEN, P. G. **Helping students assess the relative importance of different intermolecular interactions**. *Journal of Chemical Education*, v. 85, n. 9, p. 1222, 2008.
- JOHNSTONE, A. H. **Chemical education research in Glasgow in perspective**. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 7, n. 2, p. 49-63, 2006.
- JUNQUEIRA, M. M. **Um estudo sobre o tema interações intermoleculares no contexto da disciplina de química geral: a necessidade da superação de uma abordagem classificatória para uma abordagem molecular**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2017.
- KAFURE, R. G. **Uma topo-ontologia de Heidegger e Bachelard**. *Ideas y Valores*, 69(172), 33-56, 2020.
- KOCH, W.; HOLTHAUSEN, M. C. **A Chemist's Guide to Density Functional Theory**. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2001.
- KOLOS, W.; SZCZEPANIAK, S. **História da ligação química**. São Paulo: Editora Blucher, 2005.
- LEHN, J. M. **Supramolecular chemistry**. New York: Vch, Weinheim, 1995.
- Lewis, G. N. **The Atom and the Molecule**. *Journal of the American Chemical Society*, 38, 762-785, 1916.
- LEWIS, G. N. **Valence and the Structure of Atoms and Molecules**. Chemical Catalog Company, 1923.
- LIMA, M. A. M.; MARINELLI, M. **A Epistemologia de Gaston Bachelard: uma Rupturacom as Filosofias do Imobilismo**. *Revista de Ciências Humanas*, v. 45, n. 2, p. 393-406, 2011.
- LIMA, M. E. C. C.; SILVA, P. S. **Critérios que professores de química apontam como orientadores da escolha do livro didático**. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, v. 12, n. 2, p. 121-136, 2010.
- LOBATO, C. B. **Misturas e combinações químicas: estudos e explicações atômicas de John Dalton (1766 – 1844)**. Dissertação de Mestrado. PUC-SP. São Paulo. 2007.
- LOBO, F. S. **O ensino de química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano**. **Ciência & Educação**, V. 14, N.1, 2008.
- LOGUÉRCIO, R. Q.; DEL PINO, J. C. **Em defesa do filosofar e do historicizar conceitos científicos**. *História da educação*. Pelotas, RS. Vol. 11, n. 23 (set./dez. 2007), p. 67-96, 2007.
- LONDON, F. **Zur Theorie und Systematik der Molekularkräfte**. *Zeitschrift für Physik*, v. 63, p. 245–279, 1930.
- LOPES, A. **A concepção de fenômeno no ensino de Química brasileiro através dos livros didáticos**. *Química Nova*, v. 17, n. 4, p. 338-341, 1994.
- LOPES, A. R. C. **Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências**. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, v. 11, n. 3, p. 324-330, 1993.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. Rio de Janeiro: E. P. U., 2017.

LUIZ SERIBELI, F.; ANTONIO MAXIMIANO, F. **Conceitos fundamentais sobre energia de interação a partir de uma revisão bibliográfica do tema interações intermoleculares**. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 21, n. 2, 2022.

LUTFI, M. **Produção social de livros escolares de química no Brasil, de 1810 a 1941**. *Revista virtual de química*, v. 4, n. 6, p. 703-718, 2012.

MACHADO, A. H. **Pensando e Falando sobre Fenômenos Químicos**. *Química Nova na Escola*. 12(1), 2000.

MACIEL, C. A. *et al.* **A ONTOLOGIA E HERMENÊUTICA EM HEIDEGGER**. *Anais Seminário de Filosofia e Sociedade*, v. 1, n. 1, 2017.

MACIEL, M. **Elementos de Química Geral Baseados nas modernas aquisições científicas refundidos e adaptados aos programa de admissão às Escolas Superiores**. 2. ed. Rio Janeiro: Francisco Alves, 1913.

MARTINS, A. F. P. **Concepções de estudantes acerca do conceito de tempo: uma análise a luz da epistemologia de Gaston Bachelard**. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, USP, São Paulo, 2004.

MARTINS, A. F. P. Sobre obstáculos e perfis: perspectivas para o ensino de ciências a partir da epistemologia de Gaston Bachelard. **Temas de história e filosofia da ciência no Ensino. Natal: EDUFRRN**, 2012.

MARTINS, R. A. **Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. Estudos de história e filosofia das ciências**. San Pablo: editora Livraria da Física, pp XVII- XXXX. (1999) "How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School". The National Academy Press. Washington DC USA, 2006.

MATTHEWS, M. **História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação**. *Cad. Cat. Ens. Fís.*, v. 12(3), p. 164-214, 1995.

MATTIA, E.; OTTO, S. **Supramolecular systems chemistry**. *Nature nanotechnology*, v. 10, n. 2, p. 111-119, 2015.

MELO, A. C. S. *et al.* **Contribuições da epistemologia bachelardiana no estudo da história da óptica**. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 13, p. 99-126, 2007.

MELO, A. P.; ROCHA, D. C. **Reflexões sobre a importância da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências**. *Revista Espaço Acadêmico*, v. 17, n. 192, p. 69-77, 2017.

MELO, V. F. **Investigando o entendimento sobre densidade à luz da noção de Perfil Epistemológico e do Autoconceito em Química**. 2021.

MELO, V. F.; AMANTES, A. **Validação de teste em três camadas para mapear perfis epistemológicos de densidade**. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, v. 24, 2022.

MENEZES, V. M. S.; MACHADO, S. M. F.; DA SILVA, E. L. **Perfil conceitual a respeito da concepção atomística dos estados físicos da matéria de um grupo de alunos da educação de jovens e adultos – eja**. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 11, n. 5, p. 223-242, 2020.

MIGUÉIS, A., Silva, P. R., Almeida, T. M., Costa, L. B., & Santos, M. C. **A importância das palavras-chave dos artigos científicos da área das Ciências Farmacêuticas, depositados no Estudo Geral: estudo comparativo com os termos atribuídos na MEDLINE**. In 4ª Conferência Luso-Brasileira sobre Acesso Aberto, 2013.

MILLAR, R. **Um currículo de ciências voltado para a compreensão por todos**. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 5, p. 146-164, 2003.

MIRANDA, A. C. G. **Transição Progressiva dos modelos explicativos de estudantes do nível médio sobre Forças Intermoleculares**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria., 2018

MIRANDA, A. C. G.; BRAIBANTE, M. E. F.; PAZINATO, M. S. **Tendências do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares a partir da análise de publicações em periódicos nacionais e**

internacionais. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. Espanha. Vol. 17, n. 2, p. 394-419, 2018.

MIZUKAMI, M. da G. N. et al. **Ensino: as abordagens do processo.** São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

MIZUKAMI, M. G. N. et al. **Ensino: as abordagens do processo.** São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

MOELLER, T. ***Inorganic Chemistry.*** Barcelona: Reverté, 873 p, 1956.

MONTEIRO, P. V. R.; SILVA, G. L. R.; ROSSLER, J. H.. **A apropriação de conceitos científicos no contexto escolar e as pedagogias do aprender a aprender.** Psicologia Escolar e Educacional, v. 20, p. 551-560, 2016.

MOREIRA, I. C.; MASSARANI, L. **Aspectos históricos da divulgação científica no Brasil.** Ciência e público: caminhos da divulgação científica no Brasil. Rio de Janeiro: Casa da Ciência, p. 43-64, 2002.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de Aprendizagem e Ensino de Ciências.** São Paulo: Editora Cortez, 2011.

MORENO, L.E. A.; WALDEGG, G. ***La epistemología constructivista y la didáctica de las ciencias: ¿coincidencia o complementariedad?*** Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas, v. 16, n. 3, p. 421-430, 1998.

MORGAN, D. L. **Integrating qualitative and quantitative methods: A pragmatic approach.** Sage publications, 2013.

MORI, R. C.; CURVELO, A. A. **O que sabemos sobre os primeiros livros didáticos brasileiros para o ensino de química.** Química Nova, v. 37, p. 919-926, 2014.

MORTIMER, E. F. **A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário.** Em aberto, v. 7, n. 40, 1988.

Mortimer, E. F. **Beyond chemical boundaries: A conceptual profile for molecule and molecular structure.** Química Nova, 20, 200-207, 1997.

MORTIMER, E. F. **Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?** Investigações em Ensino de Ciências. V. 1, p.20-39, 1996.

MoRTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências** (1ª ed.). Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

MORTIMER, E. F. **Pressupostos epistemológicos para uma metodologia de ensino de Química: mudança conceitual e perfil epistemológico.** Química Nova, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 242-249, 1992.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H.; ROMANELLI, L. I. **A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos.** Química nova, São Paulo, v. 23, p. 273-283, 2000.

MORTIMER, E., & El-Hani, C. N. **Conceptual Profiles: a theory of teaching and learning scientific concepts.** Dordrecht, Netherlands: Springer, 2014.

MOURA, B. A.; SILVA, C. C. **Abordagem multicontextual da história da ciência: uma proposta para o ensino de conteúdos históricos na formação de professores.** Revista Brasileira de História da Ciência, v. 7, n. 2, p. 336-348, 2014.

MOURA, B. A. **A filosofia natural de Benjamin Franklin: traduções de cartas e ensaios sobre a eletricidade e a luz.** Editora UFABC, 2019.

MULLIKEN, R. S. ***Spectroscopy, molecular orbitals, and chemical bonding.*** Science, v. 157, n. 3784, p. 13-24, 1967.

NAGAYOSHI, C. S.; SCARPA, D. L. **Natureza da Ciência e Filosofia da Ciência no Ensino: um Diálogo a partir dos Livros Didáticos de Filosofia.** Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, p. e35170-31, 2022.

NETO, W. N. A. de A. **A noção clássica de valência e o limiar da representação estrutural.** Química Nova na Escola, n. 7, p. 13-24, 2007.

NOGUEIRA, H. S. A. **O conceito de valência em livros didáticos de Química Geral para o nível superior nas primeiras décadas do século XX.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, Boaz G.; ARAÚJO, Regiane CMU. **SAPT: ligação de hidrogênio ou interação de van der Waals?** Química Nova, v. 35, p. 2002-2012, 2012.

OLIVEIRA, R. J. **A escola e o ensino de ciências.** São Leopoldo: Unisinos, 2000.

PASCAL, P. **Chimie Générale.** 4. ed. Paris: Masson, 477 p, 1949.

PAULING, L. **The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals: An Introduction to Modern Structural Chemistry.** 3. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1960.

PAULING, L. **The nature of the chemical bond.** *Journal of the American Chemical Society*, v. 53, n. 4, p. 1367-1400, 1931.

PAZINATO, M. S. et al. **Epistemological profile of chemical bonding: evaluation of knowledge construction in high school.** *Journal of Chemical Education*, v. 98, n. 2, p. 307-318, 2020.

PEREIRA, A. Souza. **Uma proposta teórica-experimental de sequencia didática sobre interações intermoleculares no ensino de química, utilizando variações do teste da adulteração da gasolina e corantes de urucum.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2010.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências.** Porto Alegre: Artmed, 2009.

PUIG, I. **Curso Geral de Química.** 2. ed. Porto Alegre: Globo, 1932.

RAIČIK, A. C. **Algumas interações pessoais de Niels Bohr com JJ Thomson e Ernest Rutherford no período de seu pós-doutorado: para uma visão mais humana da ciência.** *A Física na Escola*, v. 21, p. 220907-1-220907-14, 2023.

RAMSAY, O. B. **Molecular Models in the Early Development of Stereochemistry: I. The van't Hoff Model. II. The Kekulé Models and the Baeyer Strain Theory. van't Hoff-Le Bel Centennial.** *American Chemical Society: Symposium Series, Washington, EUA*, 74-96, 1975.

REGNAULT, V. **Cours Élémentaire de Chimie.** 3. ed. Paris: Augeste Pagny Editora, 1851.

RIBEIRO, A. J. **Elaborando um perfil conceitual de equação: desdobramentos para o ensino e a aprendizagem de matemática.** *Ciência & Educação*, v. 19, n. 01, p. 55-71, 2013.

RINALDI, F. **A lei de Boyle como exemplo de experimentação e aprendizagem.** Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física)–Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ROCHA, C. J.; DE FARIAS, S. **A importância do livro didático na integralização e aulas de Química em escola pública.** *EDUCA-Revista Multidisciplinar em Educação*, v. 7, n. 17, p. 1547-1560, 2020.

ROCHA, W. R. **Interações intermoleculares.** *Cadernos temáticos de Química Novana Escola*, São Paulo, n. 4 p. 31-36, 2001.

RODRIGUES, T. S. et al. **Análise sobre as formas de apresentação do conhecimento químico: o conceito de ligações químicas em livros didáticos.** *Química Nova na Escola*, v. 44, p. 428-438, 2022.

ROSA, P. R. S. **Uma Introdução a Pesquisa Qualitativa em Ensino de Ciências.** Campo Grande: UFMS, 2013.

SANTORO, A. **Um pioneiro da física moderna e um dos criadores da mecânica estatística.** *Revista Primus Vitam N°*, v. 3, n. 2°, 2011.

SANTOS, J. P. M.; SANTOS, B. F. **Diretrizes para planejamento do ensino de ciências baseado na teoria dos perfis conceituais.** *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 25, e40890, 2023.

SANTOS, M. D.; NAGASHIMA, A. L. **A epistemologia de Gaston Bachelard e suas contribuições para o ensino de química.** *Paradígma*, v. 36, n. 2, p. 37-46, 2015.

SCHNEIDER, E. M.; FUJII, R. A. X.; CORAZZA, M. J. **Pesquisas quali-quantitativas: contribuições**

- para a pesquisa em ensino de ciências. *Revista Pesquisa Qualitativa*, v. 5, n. 9, p. 569-584, 2017.
- SEPULVEDA, C.; MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. **Analyzing discursive interactions in the context of evolution teaching with a conceptual profile of adaptation.** In: *Science education research in Latin America*. Brill, p. 277-306, 2020.
- SEPULVEDA, C.; MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. **Construção de um perfil conceitual de adaptação: implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução.** *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 18, n. 2, p. 439-479, 2013.
- SERIBELI, F.; ANTONIO MAXIMIANO, F. **Conceitos fundamentais sobre energia de interação a partir de uma revisão bibliográfica do tema interações intermoleculares.** *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 21, n. 2, 2022.
- Sidgwick, N. V. **The electronic theory of valence.** Oxford: Oxford University Press, 1927.
- Sidgwick, N. V.; Powell, H. M. **Stereochemical types and valency groups.** *Proceedings of the Royal Institution*, 176(965), 153-180, 1940.
- SILVA, F. A. R. **O perfil conceitual de vida: ampliando as ferramentas metodológicas para sua investigação.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais – Faculdade de Educação. 2006.
- SILVA, F. C. V.; AMARAL, E. Articulando conhecimentos científicos e práticos sobre ácidos/bases: uma análise de formas de falar e modos de pensar de licenciandos em química e cabeleireiras. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 22, p. e19348, 2020.
- SILVA, M. F.; MONTEIRO, M. A. **Abordagens imagético-verbais relacionadas à balança elétrica de Coulomb em livros didáticos de Física.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 2, p. 320-350, 2015.
- SILVA, R. P.; CARVALHO, A. M. P. **A importância das múltiplas representações no ensino de Química.** *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 11, n. 2, p. 45-56, 2018.
- SILVA, V. S. **Trajetória e construção do conceito de Ligações Químicas de Gilbert Lewis: uma discussão a partir da Epistemologia e do Ensino de Química.** Orientador: Bruno dos Santos Pastoriza. 2022. p. 142. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.
- SILVEIRA, F. A.; VASCONCELOS, A. K. P; ALMEIDA, S. N.; SANTOS NETO, M. B. Investigação dos obstáculos epistemológicos no ensino de Química: Uma abordagem no tópico de modelos atômicos. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, Santo Ângelo, v. 1, n. 9, p. 31-46, 2019.
- SJÖSTRÖM, J. **Towards Bildung-oriented chemistry education.** *Science & Education*, v. 22, p. 1873-1890, 2013.
- SJÖSTRÖM, J.; EILKS, I. **Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung.** *Cognition, metacognition, and culture in STEM education: Learning, teaching and assessment*, p. 65-88, 2018.
- SJOSTROM, J.; TALANQUER, V. **Humanizing chemistry education: From simple contextualization to multifaceted problematization.** *Journal of Chemical Education*, v. 91, n. 8, p. 1125-1131, 2014.
- SUTTON, M. **A forgotten triumph.** *Chemistry World*. 2008.
- TABER, K. S. **Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education.** *Chemistry Education Research and Practice*, v. 14, n. 2, p. 156-168, 2013.
- TABER, K. S. **The nature of the chemical concept: Re-constructing chemical knowledge in teaching and learning.** *Royal Society of Chemistry*, 2019.
- TIPLER, P; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros: eletricidade e magnetismo, óptica.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2. 550 p, 2006.
- TOZONI-REIS, M.F.C. **Metodologia da Pesquisa.** 2. ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009.
- TRZESNIAK, P. A estrutura editorial de um periódico científico. In: SABADINI, A. A. Z. P.; SAMPAIO,

M. I. C.; KOLLER, S. H. (Orgs.). **Publicar em psicologia: um enfoque para a revista científica**. São Paulo: Associação Brasileira de Editores Científicos de Psicologia; Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo, p. 87-102, 2009.

VERONEZ JÚNIOR, R. W. **Epistemologia social e organização do conhecimento: Contribuições às abordagens culturais**, 2021

VILLATE, J. E. **Elettricidade, Magnetismo e Circuitos**. 2º. ed. Porto, Portugal: Edição do autor, p. 314, p. 314, 2015.

VYGOTSKY, L. S. **Consciousness as a problem in the psychology of behavior**. Soviet Psychology, 17(4), 3-35, 1979.

VYGOTSKY, L. S. **A Formação Social da Mente: O Desenvolvimento dos Processos Psicológicos Superiores** (3ª ed.). Martins Fontes, 2001.

WANG, H. A.; MARSH, D. D. **Science instruction with a humanistic twist: teachers' perception and practice in using the history of science in their classrooms**. *Science & Education*, v. 11, p. 169-189, 2002.

WARTHA, E. J.; DE BRITO REZENDE, D. **Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce**. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 16, n. 2, p. 275-290, 2011.

WERTSCH, J. V. **Vygotsky and the social formation of mind**. *Harvard university press*, 1988.

ZANETIC, J. **Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas**. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, 13, 55-70, 2006.

ZATERKA, L. **As teorias da matéria de Francis Bacon e Robert Boyle: forma, textura e atividade**. *Scientiae Studia*, v. 10, p. 681-709, 2012.

ZEEGERS-HUYSKENS, T.; HUYSKENS, P. **Intermolecular forces**. In: *Intermolecular forces: An introduction to modern methods and results*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1991. p. 1-30.

ZIMMERMANN, E.; BERTANI, J. A. **Um novo olhar sobre os cursos de formação de professores**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 20, n. 1, p. 43 – 62, 2003.