

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

Dissertação de Mestrado



Ácidos e Bases:
Um mapeamento histórico e epistemológico dos conceitos

Guilherme Brahm dos Santos

Pelotas, 2025

Guilherme Brahm dos Santos

Ácidos e Bases:
um mapeamento histórico e epistemológico dos conceitos

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

Orientador: Bruno dos Santos Pastoriza

Coorientador: Alessandro Cury Soares

Pelotas, 2025

Guilherme Brahm dos Santos

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

S237a Santos, Guilherme Brahm dos

Ácidos e bases [recurso eletrônico] : um mapeamento histórico e epistemológico dos conceitos / Guilherme Brahm dos Santos ; Bruno dos Santos Pastoriza, orientador. — Pelotas, 2025.
158 f.

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

1. Ácidos e bases. 2. Epistemologia. 3. História. 4. Ensino de Química. I. Pastoriza, Bruno dos Santos, orient. II. Título.

CDD 540.7

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Guilherme Brahm dos Santos

Ácidos e Bases: um mapeamento histórico e epistemológico dos conceitos

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: 20/08/2025

Banca examinadora:

Prof. Dr. Bruno dos Santos Pastoriza (Orientador)
Doutor em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. José Ribeiro Gregório
Doutor em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Dra. Aline Joana Rolina Wohlmuth Alves dos Santos
Doutora em Química Inorgânica pela Universidade Federal de Santa Maria

Agradecimentos

Muito pensei ao escrever esses agradecimentos, mais no sentido se eu deveria escrevê-lo ou se faria sentido deixar passar e manter esse documento sem esse elemento componente opcional. Bom, nesse momento, como você está lendo essa página, fica evidente qual foi minha decisão. Sendo assim, o motivo da escolha de escrita desses agradecimentos é com o intuito de homenagear as pessoas que considero que foram importantes para mim nesse tempo de curso de pós-graduação.

Penso que não seria justo se eu não começasse agradecendo ao maior para pro player de Minecraft que esse mundo já viu, a criança que faz com que eu siga forte todos os dias, sendo um pilar sustentador da minha vida e que é uma das pessoas mais importantes da minha vida. Trazendo para mim diversos momentos de risadas e pausas para conversar. Sem ele, acredito que não seria possível eu ter concluído tão bem essa etapa da minha vida. Eu te amo.

Quando entrei no mestrado, eu era uma pessoa mais distante do que eu comumente me classifico. Uma das pessoas que conseguiu fazer eu me aproximar do grupo, se tornando uma grande colega, logo uma grande amiga e agora minha namorada, merece meus sinceros agradecimentos também. Uma pessoa que era desconhecida há 2 anos, se tornou uma parte fundamental da minha vida. Não só pelo envolvimento fora do trabalho, com nossa relação (colegas, amigos e namorados) se desenvolvendo, mas que em vários momentos em que eu me peguei com problemas referentes a dissertação, por consequente ao trabalho que é envolvido com isso, e ela foi a principal pessoa que acreditou no meu potencial, no meu trabalho e em mim. Sendo assim, um agradecimento duplo, à profissional excelente que ela é, e à nossa relação construída, sendo incrível para mim. Eu te amo.

Quero agradecer aos meus amigos, tanto de trabalho, quando fora dele, trazendo sempre momentos mais leves e descontraídos, mas em especial, gostaria de agradecer ao meu grupo principal de amigos, o G4 e seu legítimo suplente. Foram peças fundamentais em momentos que eu precisava de sanidade mental e, mesmo sem estarem cientes, me ajudaram de diversas maneiras na hora em que mais precisei. Jogatinas de Mahjong com penalidade de ter o mindinho perdido, além de outros jogos de carta/tabuleiro que no momento em que escrevo isso, sinto que são menos relevantes aos atuais (jogo do chifre, bananinhas, pax pami, poker, etc.), ofensas gratuitas, gameplays de péssima qualidade e diversos papos furados

presencialmente ou em mídias digitais, fizeram meus dias mais leves e me criaram força para finalizar. Odeio vocês.

Por motivos óbvios, quero agradecer a uma parte da minha família, que esteve comigo esse tempo inteiro, me dando um local para residir, apoio financeiro e comida na mesa, sendo isso um luxo que, infelizmente, não são todas as pessoas que podem ter. Sendo assim, me sinto inteiramente grato a isso.

Gostaria de agradecer também aos meus orientadores que estiveram comigo durante esse tempo, que não foi apenas do mestrado, mas ao longo da graduação. Ao longo desse tempo aprendi muito com vocês, obrigado.

A banca que leu meu trabalho merece um espaço especial aqui, uma vez que dedicar um tempo para ler e estudar sobre um trabalho de dissertação é algo importante, que requer trabalho e dedicação, obrigado.

Gostaria de agradecer a CAPES, que foi o órgão de fomento da minha bolsa de pesquisa. Vivemos em um momento difícil, passar em um processo seletivo onde é possível receber um auxílio financeiro para pesquisar e estudar com fins de contribuir com a pesquisa brasileira, com a área de Ensino de Química, com a sociedade e pessoalmente, é evidentemente um local privilegiado, obrigado.

Por fim, finalizo dizendo que ao longo do curso, me senti várias vezes perdido, não sabendo exatamente se as discussões estavam coerentes e se eu estava sendo fiel ao que eu gostaria de pesquisar. Muito eu passei por processos de autossabotagem, algo que com as consultas com minha terapeuta foi aos poucos sendo amenizado. Penso que para concluir essa etapa passei por muitos processos de desenvolvimento pessoal, que para mim, também é importante para ter um trabalho bem feito e ser um bom profissional. Além disso, com esse desenvolvimento profissional que tive nessa pós-graduação, com certeza tem um papel importante no meu eu professor e como serei um profissional melhor para meus futuros discentes.

Que venha a próxima etapa!

Resumo

SANTOS, Guilherme Brahm dos. Ácidos e Bases: um mapeamento histórico e epistemológico dos conceitos. Orientador: Bruno dos Santos Pastoriza. 2025. 158 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025.

Esta é uma pesquisa de cunho qualitativo que foi dividida em três artigos organizados a partir do objetivo da pesquisa, que é investigar como se deu a construção dos conceitos que originaram a noção de ácidos e bases que é ensinada nos cursos da Educação Básica e Superiores atualmente no contexto brasileiro. Sendo assim, é possível assumir que esta dissertação demonstra que a mediação didática dos conceitos de ácidos e bases em livros do Ensino Médio e Superior opera mediante seleções, hierarquizações e simplificações que, embora pedagogicamente necessárias, geram distorções epistemológicas significativas. Desta forma, há discussões neste texto que demonstram um certo apagamento das rupturas históricas e ontológicas inerentes à construção científica, substituídas por narrativas lineares (Arrhenius → Bronsted-Lowry → Lewis) que dificultam a compreensão da natureza dinâmica do conhecimento, promovendo a criação de obstáculos epistemológicos bachelardianos. No Ensino Médio predomina uma abordagem fenomenológica centrada em Arrhenius, enquanto no Superior há hegemonia de Bronsted-Lowry com formalismo simbólico, mas ambos marginalizam a ontologia de processos de Lewis. Essas escolhas perpetuam concepções alternativas e descontextualizam aplicações relevantes. Sendo assim, foi possível evidenciar que uma mediação didática responsável deve transformar rupturas históricas em ferramentas pedagógicas, articulando teorias como respostas a problemas específicos, integrar dialeticamente macroscópico, submicroscópico e simbólico, e vincular conceitos a contextos reais.

Palavras-chave: Ácidos e Bases; Epistemologia; História; Ensino de Química

Abstract

SANTOS, Guilherme Brahm dos. Acids and Bases: a historical and epistemological mapping of concepts. Advisor: Bruno dos Santos Pastoriza. 2025. 158 p. Dissertation (Master's in Chemistry) – Center for Chemical, Pharmaceutical and Food Sciences, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2025.

This qualitative study was structured into three articles, each aligned with the overarching objective of investigating how the foundational concepts underlying the notions of acids and bases—currently taught in both Basic and Higher Education in Brazil—were historically constructed. The findings indicate that the didactic mediation of these concepts in secondary and university-level textbooks operates through selections, hierarchizations, and simplifications which, while pedagogically functional, result in significant epistemological distortions. It is argued that the historical and ontological ruptures inherent in the scientific development of these theories have been largely erased, giving way to linear narratives (Arrhenius → Bronsted-Lowry → Lewis) that obscure the dynamic nature of scientific knowledge and contribute to the formation of Bachelardian epistemological obstacles. At the secondary level, a phenomenological approach centered on Arrhenius predominates, whereas at the higher education level, a Bronsted-Lowry framework with symbolic formalism is dominant; however, in both contexts, the ontological dimension of Lewis's process theory remains marginalized. These curricular choices are shown to reinforce alternative conceptions and to detach theoretical content from relevant applications. Consequently, the study emphasizes that responsible didactic mediation must transform historical ruptures into pedagogical tools, presenting theories as responses to specific problems, integrating macroscopic, submicroscopic, and symbolic dimensions dialectically, and connecting conceptual frameworks to real-world contexts.

Keywords: Acids and Bases; Epistemology; History; Chemistry Teaching

Sumário

1. Introdução	11
2. Referencial Teórico	14
2.1 História e epistemologia	15
2.2 Ácidos e bases	25
3. Metodologia	34
4. Prelúdio ao artigo sobre a Construção dos conceitos de Ácidos e Bases	38
4.1 Artigo 1:.....	38
Construção dos conceitos de Ácidos e Bases: Uma análise histórica, ontológica e epistemológica das ideias	38
Resumo	38
Introdução.....	39
Metodologia da Pesquisa	42
Ácido-Base a partir das ideias de matéria	43
Ácido-Base a partir da ideia de processo	55
Considerações Finais	67
Referências	69
5. Prelúdio aos artigos acerca dos materiais didáticos	74
5.1 Artigo 2:.....	74
Investigando conceitos fundamentais: Ácidos e Bases nos livros didáticos do PNLD de 2021.....	74
Resumo:	74
1. Introdução.....	74
2. Metodologia	77
3. Resultados e discussão	79
3.1.1 Categoria 1 - Abordagem Histórica.....	81
3.1.2 Categoria 2 - Associação do conteúdo	85
3.1.3 Categoria 3 - Características Comportamentais	88
3.1.4 Categoria 4 - Pensamento matemático.....	91
3.1.5 Categoria 5 - Simbolismo.....	93
3.2. Discussões e relações	96
3.2.1 Submicroscópico.....	98
3.2.2. Simbólico.....	99
3.2.3. Macroscópico	100
3.2.4 Compreensão no trabalho	101

4. Considerações Finais.....	102
5. Referências	103
5.2. Artigo 3:	107
Investigando conceitos fundamentais: Ácidos e Bases nos livros didáticos do Ensino Superior	107
Resumo:	107
1. Introdução.....	107
2. Metodologia	108
3. Resultados e Discussões	111
3.1. Categoria 1 - Abordagem Histórica	112
3.2. Categoria 2 - Definição do conceito	116
3.3. Categoria 3 - Aplicação do conceito	120
3.4. Categoria 4 - Características e propriedades	124
4. Percepções e discussões acerca das categorias	130
5. Considerações finais.....	133
Referências	134
6. Olhando para a dissertação e evidenciando o fio guia	136
6.1 Problematizações entre os artigos 1 e 2:	137
6.2 Problematizações entre os artigos 1 e 3:	141
6.3 Problematizações entre os artigos 2 e 3:	143
7. Por fim a Dissertação e suas possibilidades:	146
Referências	148

1. Introdução

Este trabalho faz parte de um estudo que tem pesquisado sobre os conceitos químicos que são considerados fundamentais, com vista a analisar tal ideia de “fundamentalidade” frente ao cenário de uso, pertinência, abrangência e aplicabilidade à Química e ao Ensino da Química da atualidade. Segundo Taber (2019), a área da Química é altamente conceitual, com uma alta densidade de ideias abstratas e necessita de explicações de um domínio invisível e submicroscópico de entidades desconhecidas. Entendendo a Química como a ciência que estuda a natureza, as propriedades e a composição da matéria (RUSSEL, 1994), e as transformações que ocorrem quando submetidas à ação de agentes físicos e/ou à presença de outras substâncias (CARVALHO, 2014). Dessa forma, a dissertação está organizada em 3 artigos que articulam nossas ideias e buscam dar sustentação ao documento, sendo explicitadas a seguir.

O primeiro artigo discute sobre a construção histórica, ontológica e epistemológica dos conceitos de ácidos e bases. O estudo destaca como as definições de ácidos e bases foram construídas ao longo do tempo, influenciadas por contextos experimentais e teóricos específicos. O segundo artigo tem como objetivo investigar os conceitos de ácido e base nos livros didáticos do edital de 2021 do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) e analisar como esses conceitos são abordados e discutidos, além de identificar o que os autores consideram fundamental para o ensino da Química. Por fim o terceiro artigo analisa a abordagem dos conceitos de ácidos e bases em livros didáticos (LD) de Química do Ensino Superior.

A partir disso, entendemos como a área de Educação em Química, em vários momentos, tem problematizado o trabalho com os conteúdos e conceitos químicos sendo tratados como se fossem “inquestionáveis e verdadeiros” (SCHNETZLER, 2010), sendo ofertados sem o desenvolvimento de criticidade, de uma autoavaliação ou, até mesmo, de suas possíveis concepções alternativas geradas. Para Mortimer (1988), autores de livros didáticos ao longo da história, por exemplo, podem ter contribuído com essa situação, pois esses autores sempre tiveram dificuldade em romper com certas tradições. Um exemplo clássico de como essas tradições aparecem é abordar os mesmos conceitos químicos da mesma forma, mesmo que o cenário da ciência esteja constantemente revendo sua coerência, relevância ou definições (SANTOS, BARDINI, PASTORIZA, 2019).

Lôbo e Moradillo (2003) acabam por glosar uma formação tecnicista dos professores da Química, ou seja, um modelo de ensino que considera necessário um conhecimento teórico mais sólido para que o profissional atue na sua prática de licenciado contendo uma base “fundamental”. Santos *et al.* (2019) discutem que embora seja importante esse tipo conhecimento bem desenvolvido para a prática profissional, é possível pensarmos esse tipo de conhecimento teórico mais sólido, no sentido de fixo, difícil de mudar ou modificar, que já está bem acomodada, não pode ser o próprio obstáculo pensando no sentido de um desenvolvimento de novos conhecimentos, ou até mesmo a expansão desse saber.

Como principal referencial do presente trabalho, Bachelard (1996, p. 9), por exemplo, aponta que a relatividade de Einstein deforma conceitos primordiais que eram tidos como fixados para sempre. Esse pensar no nível epistemológico, ou seja, na construção do conhecimento, nos auxilia a evidenciar uma necessidade de problematizar, repensar e criticar alguns dos conceitos que são considerados também, de certa forma, fixos em nosso ensino. Mendonça e Pereira (2015) afirmam que a Química é uma disciplina que faz parte do currículo do ensino fundamental e médio. A aprendizagem de Química pode permitir que os alunos compreendam as transformações químicas que ocorrem no mundo físico de forma abrangente e integrada, para que eles possam julgar, com base em fundamentos, as informações adquiridas na mídia, na escola, com pessoas, etc. Essas discussões são relevantes até mesmo em documentos históricos, como as Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), onde é possível ver discussões a partir disso, em que o aluno interagirá com o mundo enquanto indivíduo e cidadão (PCN's. MEC/SEMTEC, 1999).

Pinheiro, Bellas e Santos (2016) destacam que a construção de conceitos e teorias científicas é inerentemente vinculada ao contexto histórico-social de sua produção. Embora a ciência possua dinâmica interna, sofre influências de variáveis sociais, econômicas e políticas. Consequentemente, a rede conceitual da química não constitui um sistema autônomo, mas sim um conjunto de ideias inter-relacionadas que carregam em si a historicidade de sua formação. Nessa perspectiva, o Ensino de Ciências busca modificar a apresentação superficial, exigindo a compreensão de sua gênese e desenvolvimento histórico para apreensão significativa.

A relevância da História da Ciência para a educação científica é sustentada por pesquisadores como Pinheiro, Bellas e Santos (2016), Hodson (1992) e Matthews (1994). Hodson (1992) traz a ideia de compreensão da natureza da ciência, em que

exige o estudo do desenvolvimento do conhecimento científico, suas interações sociais e implicações tecnológicas, fundamentado na História e Filosofia da Ciência. Conforme Pinheiro, Bellas e Santos (2016), a abordagem histórica em sala de aula pode permitir aos estudantes: reconhecer o caráter falível da investigação científica; identificar controvérsias e rupturas no processo de construção do conhecimento; compreender a natureza dinâmica da ciência. Essa perspectiva evita a transmissão dogmática, apresentando o conhecimento científico como construção provisória contextualizada sócio-historicamente.

Para fazer os estudos desta dissertação, foi necessário fazer um aprofundamento de textos das áreas da história e epistemologia e analisá-los de forma qualitativa, como cada autor discute os conceitos de ácidos e bases, pensando em seu desenvolvimento epistemológico. Por fim, fazer uma discussão e buscar argumentos sobre como as discussões epistemológicas, com base no referencial de Bachelard, implicam para a compreensão dos conceitos de Ácidos e Bases no contexto da Química e de seu ensino e, juntamente com isso, compreender por meio dos estudos, qual a importância do entendimento dos conceitos de Ácidos e Bases para o trabalho do Ensino de Química.

Dessa forma, neste trabalho, as bases da epistemologia de Bachelard foram empregadas para as discussões acerca da construção do conhecimento científico. Partiu-se da relevância da ciência para contextualizar e identificar obstáculos epistemológicos. Contudo, o referencial de Bachelard oferece mais: ele permite utilizar conceitos focados na construção *das* ideias (e não meramente nos fatos), proporcionando assim, um olhar mais aprofundado para esta investigação.

De acordo com o historiador Bachelard (1996, p.22), uma ideia mal compreendida ainda é um fato; para o epistemólogo, é um obstáculo a ser superado, demonstrando sua distinção:

O historiador da ciência deve tomar as ideias como se fossem fatos. O epistemólogo 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 epistemólogo, é um obstáculo, um contra-pensamento [...] Percebe-se assim a diferença entre o ofício de epistemólogo e o de historiador da ciência.

Articulando a discussão, o historiador trata as ideias como fatos históricos, enquanto o epistemólogo vê os fatos como ideias incorporadas a um sistema de pensamento. Assim, neste trabalho, deliberadamente, essa dupla perspectiva será

assumida: em alguns momentos, será adotado o olhar do historiador, atento aos fatos e contextos; em outros, as ideias da epistemologia bachelardiana será assumida, focando na construção dos conceitos científicos e na superação dos obstáculos epistemológicos.

Pensando na construção do pensamento científico, percebeu-se conteúdos e conceitos químicos sendo tratados como se fossem inquestionáveis e verdadeiros (SANTOS, BARDINI e PASTORIZA, 2020). Portanto, nota-se a necessidade de evidenciar processos de experimentação, confrontos, desconstruções, construções e reconstruções de abstração.

Levando em consideração esses pontos, esta pesquisa tem como objetivo responder o problema de pesquisa: Como se deu a construção dos conceitos que originaram a noção de ácidos e bases que está presente nos materiais didáticos utilizados atualmente, em cursos da Educação Básica e Superiores no contexto brasileiro? Esse objetivo permite que seja possível articular as discussões sobre a relevância dos livros didáticos (LD) no ensino dos conceitos de ácidos e bases.

2. Referencial Teórico

O referencial teórico desta pesquisa se alinha com as preocupações e críticas já apresentadas na introdução sobre o ensino dos conceitos químicos (neste caso a constituição de ácidos e bases) como verdades inquestionáveis. A abordagem histórica e epistemológica busca desconstruir a visão estática dos conceitos de Ácidos e Bases, seguindo a perspectiva de Bachelard (1996). Dessa forma, a compreensão da construção desses conceitos, suas transformações e adaptações ao longo do tempo é vital para romper com tradições fixadas no processo de Ensino. Sendo assim, a crítica à formação tecnicista dos professores de Química, mencionada por Lôbo e Moradillo (2003), reforça a importância de uma abordagem crítica e reflexiva no ensino, alinhada com os objetivos da didática apresentados. A necessidade de problematizar e repensar os conceitos químicos, sob o referencial epistemológico de Bachelard é destacada como uma ferramenta para promover uma visão dinâmica do conhecimento.

O referencial busca, assim, estimular uma abordagem crítica e reflexiva no ensino de Ácidos e Bases. O entendimento da construção histórica desses conceitos, sua base epistemológica e as estratégias didáticas adequadas se entrelaçam para proporcionar uma visão mais abrangente e dinâmica no contexto do ensino de

Química. Diante dessa perspectiva, o referencial teórico desta dissertação estrutura-se na interconexão entre as dimensões epistemológica e conceitual. Essa articulação fundamenta a análise dos conceitos de ácidos e bases, considerando simultaneamente sua construção científica e sua mediação didática (Lopes, 1997). Para essa abordagem, o referencial organiza-se em torno dessas duas dimensões: a primeira é relacionada à História e Epistemologia da Ciência, que examina os processos de construção do conhecimento químico com ênfase na superação de obstáculos epistemológicos; e a segunda relaciona-se ao estudo específico dos conceitos de ácidos e bases, que analisa sua construção teórica e relevância para a Química.

A integração dessas duas dimensões manifesta-se mediante a utilização de conceitos, tanto históricos quanto epistemológicos, como mecanismo para compreender a trajetória conceitual das definições de ácidos e bases, elucidando como emergiram e se transformaram mediante contradições e reconstruções teóricas. Esse entendimento, por sua vez, direciona e qualifica a análise didática subsequente, permitindo examinar como os livros didáticos do Ensino Básico e Superior traduzem tais conceitos em suas abordagens pedagógicas.

Nesse movimento, a epistemologia bachelardiana subsidia as ideias de análise conceitual identificando rupturas e continuidades na estruturação do conhecimento. A dimensão didática, evolvida pelas duas dimensões, revela os mecanismos de mediação que contextualizam os conceitos científicos em diferentes níveis de ensino, demonstrando como a compreensão de seu percurso histórico-epistemológico é fundamental para práticas docentes conscientes. Permitindo esse tipo de discussão, é possível perceber que esses referenciais demonstram potência para tratar sobre o ensino dos conceitos e sobre suas abordagens em livros didáticos, tanto de ensino básico, quanto de Ensino Superior, buscando entender a importância dos conceitos para o Ensino de Química.

2.1 História e epistemologia

A Epistemologia, segundo Orlandin, Sousa e Galiazzi (2023), trata a linguagem como ferramenta, artefato, instrumento ou representação simbólica, trazendo consigo a ideia de compreender a linguagem da Química, sabendo utilizar seus símbolos, diagramas e fórmulas sua semiótica. Para Bachelard (1996) a perspectiva epistemológica, tendo seu foco na racionalidade técnica, na metodologia e nos

processos cognitivos, restringe a historicidade do conhecimento. É a partir da linguagem que se dá o diálogo, a interpretação e a compreensão. Tanto a análise lógica quanto a historicidade são importantes para a Educação Química, pois propiciam o desenvolvimento do raciocínio lógico, da afetividade, da socialização, da criticidade, da capacidade de perguntar e do diálogo, de modo a ampliar horizontes de compreensão. (ORLANDIN; SOUSA; GALIAZZI, 2023)

A epistemologia, enquanto estudo crítico dos fundamentos, métodos e validade do conhecimento científico (TESSER, 1994), configura-se como subárea essencial da filosofia. Caracteriza-se pelo exame metódico da formação, desenvolvimento e funcionamento do saber científico, reconhecendo seu caráter provisório e sua imbricação com contextos ideológicos, históricos e sociais. Conforme Tesser (1994, p.19), trata-se de compreender como o conhecimento "jamais acabado ou definitivo" se estrutura em meio a condicionantes político-econômicos e culturais.

O conhecimento científico é provisório, jamais acabado ou definitivo. É sempre tributário de um pano de fundo ideológico, religioso, econômico, político e histórico. Podemos considerar a epistemologia como o estudo metódico e reflexivo do saber, de sua organização, de sua formação, de seu desenvolvimento, de seu funcionamento e de seus produtos intelectuais. A epistemologia é o estudo do conhecimento (Tesser, 1994, p. 19).

Neste campo, a distinção entre o ofício do historiador e do epistemólogo emerge como eixo estruturante. Bachelard (1996) estabelece o contraste fundamental: o historiador registra ideias mal compreendidas como fatos, enquanto o epistemólogo as interpreta como obstáculos epistemológicos a superar. Canguilhem (1983, p.179) desenvolve essa assimetria metodológica, evidenciando que o historiador procede linearmente das origens ao presente, identificando continuidades que prenunciam a ciência atual, enquanto o epistemólogo opera uma reconstrução crítica inversa, parte do conhecimento validado para reavaliar o passado, preservando apenas o que a racionalidade contemporânea legítima.

O historiador procede das origens para o presente, de forma que a ciência de hoje é sempre anunciada em certa medida pelo passado. O epistemólogo procede do atual para os seus começos, de forma que apenas uma parte daquilo que se tomou ontem por ciência se encontra em certa medida fundada pelo presente. (Canguilhem, 1983, p. 179)

Bachelard (1996, p.21-22) aprofunda essa perspectiva ao argumentar que, embora a história seja "hostil a todo juízo normativo", a avaliação da eficácia do pensamento exige intervenção seletiva.

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, é o esforço de racionalidade e de construção que deve reter a atenção do epistemólogo (Bachelard, 1996, p.21-22).

O epistemólogo deve "tomar os fatos como ideias, inserindo-as num sistema de pensamento", procedimento que implica selecionar documentos históricos mediante critérios de racionalidade atual, identificar contra pensamentos que obstruíram avanços e focalizar o "esforço de construção" do conhecimento válido. Tal postura, segundo Bontems (2006, p.143), configura uma história reconstruída "à luz recorrente" do presente, não como presentismo anacrônico, mas como antídoto contra projeções indevidas que atribuem sentidos prematuros a descobertas passadas. Essa assimetria explica porque fatores externos são associados a erros, nunca a progressos, na epistemologia bachelardiana. Esta dupla perspectiva, historiador (ideias como fatos) e epistemólogo (fatos como ideias sistematizadas), fundamenta a investigação sobre a construção dos conceitos de ácidos e bases, permitindo examinar rupturas, obstáculos e reestruturações conceituais em sua trajetória histórica e didática.

É neste contexto teórico que a História e Filosofia da Ciência (HFC) consolida sua contribuição para a compreensão da Natureza da Ciência (NDC). Ao integrar as dimensões histórica (contextualização) e epistemológica (crítica normativa), conforme Moura (2014), a HFC fornece o arcabouço para analisar a gênese do conhecimento científico em sua complexidade, considerando fatores internos e externos. A abordagem de História da Ciência, de acordo com Acevedo-Díaz, García-Carmona e Aragón (2017) tem como objetivo principal fornecer aos estudantes, no âmbito da área do ensino, particularmente aqueles que estão se preparando para se tornarem professores de ciências, uma compreensão da NDC, que é fundamental para a alfabetização científica. De acordo com Shamos (1995) compreender a natureza da ciência é o componente mais importante da alfabetização científica dos cidadãos

porque é no seu conhecimento, adequado ou não, que as pessoas confiam para avaliar questões públicas que envolvem ciência e tecnologia.

A NDC consiste em princípios fundamentais que delineiam como a ciência opera e como o conhecimento científico é construído (ACEVEDO-DÍAZ; GARCÍA-CARMONA; ARAGÓN, 2017). Rodrigues, Rodrigues Junior e Oliveira (2020) enfatizam que trabalhos sobre história da ciência têm que considerar a coerência entre os conteúdos da história da ciência e o público-alvo, pois nem todos os tópicos históricos são igualmente adequados para todos os públicos. Pois de acordo com os autores, a teoria da relatividade pode-se mostrar inadequada conceitualmente para se trabalhar com determinado público, embora possua ótima relevância do ponto de vista epistemológico. Por outro lado, ensinar aos alunos aspectos da história da ciência na idade média é muito complexo, pois requer domínios de outras disciplinas.

Matthews (1995, p. 165) sustenta que a integração da História e Filosofia da Ciência na formação docente promove o desenvolvimento de uma epistemologia científica mais autêntica e substantiva. Nesse contexto, discussões fundamentadas nesse campo tendem a catalisar transformações nas concepções de professores e alunos, transcendendo a compreensão meramente conceitual da ciência. Tais mudanças abrangem tanto a percepção da construção histórica do conhecimento quanto a reconfiguração curricular, favorecendo a transição de modelos centrados exclusivamente na lógica interna dos conteúdos para abordagens que incorporam conceitos constitutivos. Esta evolução implica, conforme Loguercio e Delpino (2007, p. 73), na compreensão do funcionamento epistêmico da ciência e seus mecanismos internos e influências externas, dos processos de construção do conhecimento em diferentes períodos históricos (antigo, moderno e pós-moderno), e das dinâmicas inerentes às comunidades científicas.

Sendo assim é possível perceber que a abordagem da História da Ciência na educação científica tem se mostrado um campo de pesquisa com cada vez mais espaço e importância, dadas suas potencialidades no aprimoramento do ensino de ciências (RODRIGUES, RODRIGUES JUNIOR E OLIVEIRA, 2020). De acordo com Martins (2005 p.306), há algumas afirmações a respeito da História da Ciência (HDC), falando que:

Em primeiro lugar, que se trata de um estudo metacientífico ou de segundo nível, uma vez que se refere a um estudo de primeiro nível que é a ciência. Há outros estudos metacientíficos que não são História da Ciência [...] A História da Ciência, em um primeiro nível, é descritiva, porém deve utilizar a terminologia adequada que normalmente ela retira da Filosofia da Ciência. [...]

Além disso, consideramos também que a História da Ciência apresenta uma metodologia própria, que não é nem a metodologia da História e nem a metodologia da Ciência, uma vez que é um tipo de estudo de natureza diferente dos dois anteriores.

Por fim, Acevedo-Díaz, García-Carmona e Aragón (2017) dizem que é necessário alertar que embora a HDC possa ser um bom recurso para a aprendizagem sobre as NDC, a sua natureza complexa e multifacetada torna necessária a utilização combinada de outros recursos educativos adicionais (e.g., análise crítica e reflexiva da atualidade científica e sócio-científica). Controvérsias, realização de investigações científicas com tarefas metacognitivas sobre o processo seguido, etc. para alcançar uma integração mais ampla, holística e eficaz da NDC nas aulas de ciências.

Martins (2005) destaca cuidados ao trabalhar com a História da Ciência, alertando para o risco de torná-la puramente descritiva, repleta de datas e de informações que, muitas vezes, não guardam relação com o objeto de estudo. Martins (2005) fala sobre um cuidado importante e relevante sobre a utilização ideológica da História da Ciência (de forma nacionalista, política ou religiosa). É importante fornecer aos professores estratégias de ensino eficazes para a implementação bem-sucedida da história da ciência na sala de aula, levando em consideração as possíveis dificuldades que os professores podem enfrentar ao aplicar essas estratégias. Matthews (1994, p. 259) defende a utilização de uma abordagem histórica no ensino na medida em que esta:

1. Desperta o interesse dos alunos; 2. Humaniza os conteúdos, 3. Proporciona uma melhor compreensão dos conteúdos científicos mostrando seu desenvolvimento e evolução; 4. Tem valor intrínseco a compreensão de episódios cruciais na história da ciência, como o darwinismo, por exemplo; 5. Demonstra que a ciência é mutável e dinâmica e que, conseqüentemente, o conhecimento científico atual é suscetível de ser transformado; 6. Desta maneira, combate a teologia científicista; e finalmente 7. A história permite o conhecimento mais rico do método científico e mostra as fases de mudança das metodologias aceitas.

Levando em consideração esses pontos, neste trabalho a perspectiva epistemológica, com base na epistemologia de Gaston Bachelard (1996), inaugura a filosofia do inexato, da construção do conhecimento científico, enfatizando o processo de ruptura com noções preconcebidas, a superação de obstáculos epistemológicos e a construção das concepções científicas, divergindo da abordagem mais tradicional da epistemologia, que se concentra em aspectos lógicos e metodológicos da ciência (Bachelard, 1996).

Ao investigar o percurso 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). Bachelard (1996) apresenta os obstáculos epistemológicos como elementos que impedem o avanço do espírito científico. Segundo sua análise, tanto o conhecimento cotidiano quanto o científico, quando levados ao extremo – seja no empirismo ou no racionalismo –, podem funcionar como tais obstáculos. Para Bachelard (1996, p. 17), o espírito científico deve ser dialético, e a questão do conhecimento deve ser abordada "em termos de obstáculos". O autor justifica esse conceito ao afirmar que, ao investigar as condições psicológicas do progresso científico, chega-se à conclusão de que esses impedimentos não derivam da complexidade dos fenômenos nem das limitações sensoriais. Eles residem no próprio ato de conhecer, ancorado em ideias pré-concebidas. Assim, uma dimensão psicológica, geradora de analogias, imagens e metáforas, frequentemente, atua como barreira ao conhecimento.

Conforme Santos e Nagashima (2015), sobre o livro *A formação do espírito científico*, Bachelard identifica os principais obstáculos epistemológicos. Eles emergem da primeira experiência e incluem: o conhecimento geral, o quantitativo, o unitário e pragmático, o substancialismo, o realismo e o animismo. Essas formas de compreensão representam entraves à construção do saber científico, cuja superação é essencial para o desenvolvimento de uma mentalidade genuinamente científica.

Considerando a relevância do estudo dos conceitos de ácidos e bases, sob a ótica bachelardiana, Lima e Costa (2023) destacam que, em *A formação do espírito científico*, o conhecimento é construído mediante a correção e superação desses obstáculos epistemológicos. Bachelard (1996, p. 17) fundamenta essa visão ao afirmar que "no fundo, o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior", exigindo a desconstrução de noções mal fundamentadas e a eliminação de barreiras à espiritualização do pensamento. Dessa maneira percebe-se que Bachelard acaba considerando oito obstáculos epistemológicos, sendo eles: Experiência Primeira; Conhecimento Geral; Obstáculo Verbal; Conhecimento Unitário e Pragmático; Obstáculo Substancialista; Obstáculo Realista; Obstáculo Animista e, por fim, o Obstáculo do Conhecimento Quantitativo.

O primeiro obstáculo, chamado de Experiência Primeira por Bachelard, é caracterizado pela aceitação acrítica da experiência, sem a devida análise crítica,

essencial para o desenvolvimento do pensamento científico. Segundo Bachelard (1996, p.29), a experiência é colocada antes e acima da crítica, que é um elemento integrante do espírito científico. Como a crítica não pôde intervir de forma explícita, a experiência primeira não constitui, de forma alguma, uma base segura.

O segundo obstáculo é o Conhecimento Geral, que resulta da generalização precipitada de conceitos, restringindo o conhecimento científico e, potencialmente, levando a erros e que segundo Bachelard (1996, p.69):

Nada prejudicou tanto o progresso do conhecimento científico quanto a falsa doutrina do geral, que dominou de Aristóteles a Bacon, inclusive, e que continua sendo, para muitos, uma doutrina fundamental do saber. Há de fato um perigoso prazer intelectual na generalização apressada e fácil.

Os dois primeiros temas são definidos por Bachelard (1996, p.91) como "temas gerais do conhecimento pré-científico" que têm a finalidade de mostrar com que facilidade o espírito pré-científico se deixa levar a generalizações indefinidas. A partir do terceiro obstáculo, são demonstrados hábitos de natureza verbal como obstáculos ao pensamento científico. O terceiro obstáculo, denominado por Bachelard como Obstáculo Verbal, refere-se ao uso excessivo de metáforas e palavras isoladas na explicação de conceitos, simplificando excessivamente ideias complexas e, conseqüentemente, empobrecendo o conhecimento científico. Bachelard (1996, p.91) diz que este é um caso em que uma única imagem, ou até uma única palavra, constitui toda a explicação.

O quarto obstáculo é o Conhecimento Unitário e Pragmático, dito por Bachelard (1996, p.103) como, além de um obstáculo verbal, há ainda a sedução de generalidades bem mais amplas. Sendo esse obstáculo caracterizado pela tentativa de enquadrar todo conhecimento em uma visão única e generalizada do mundo, naturalizando objetos científicos.

O quinto obstáculo, o Substancialismo, Bachelard (1996, p.121) atribui à substância qualidades diversas, tanto a qualidade superficial quanto a qualidade profunda, tanto a qualidade manifesta quanto a qualidade oculta. Esse obstáculo envolve atribuir diversas qualidades à substância sem investigação apropriada, limitando o conhecimento científico. De acordo com Bôas e Souza Filho (2018) para que se vença este obstáculo, deve-se ir além da explicação breve e definitiva, que se satisfaz com apenas um vislumbre de conhecimento. Alguém que tenha um espírito científico e que busque a real compreensão de fenômenos, não pode se limitar a

relações superficiais entre fenômenos e objetos, deve ir além, buscar a real justificativa para o fenômeno.

O Obstáculo Realista, o sexto, de acordo com Bachelard (1996 p.163-164) diz que de fato, a convicção primeira do realismo não é discutida, como nem chega a ser ensinada. De forma que o realismo pode, com razão, ser considerado a única filosofia inata, o que não nos parece vantajoso. É um obstáculo que constitui obstáculo à cultura científica, na medida em que inflaciona um tipo de conhecimento particular, valoriza matérias e qualidades. Com base em Lima e Costa (2023), pode-se dizer que este é um obstáculo que se sustenta em crenças que se fundamentam no sentido de ter, em que se exaltam pequenos lucros dos objetos com base em analogias sem a devida comprovação científica e assim configurando um entrave ao conhecimento científico.

O sétimo obstáculo, Animista, é descrito como um "fetichismo da vida", envolvendo constantes analogias entre seres vivos e objetos inanimados. Bachelard (1996, p.185-188) alerta para as confusões resultantes dessas analogias entre os reinos animal, vegetal e mineral, destacando:

Sobre essa intuição fundamenta-se, em seguida, uma ciência geral, confiante na unidade de seu objeto; essa ciência chama — apoio lamentável — a biologia nascente em socorro de uma química e de uma física que já obtiveram resultados positivos. Constitui-se, então, um verdadeiro fetichismo da vida, com cara de ciência, que persiste em épocas e em domínios nos quais, espantosamente, não causou escândalo. [...] A necessidade de unidade é tal que, entre os três reinos, são feitas analogias e transposições, uma escala de perfeição, que provocam as piores confusões.

Por fim, sobre o oitavo obstáculo, Conhecimento Quantitativo, Bachelard (1996, p.257) diz que um conhecimento objetivo imediato, pelo fato de ser qualitativo, já é falseado. Traz um erro a ser retificado. Esse conhecimento marca fatalmente o objeto com impressões subjetivas, que precisam ser expurgadas; o conhecimento objetivo precisa ser psicalizado. O conhecimento quantitativo é um conhecimento imediato, que é, por princípio, subjetivo. Bachelard continua seu raciocínio:

De fato, uma das exigências primordiais do espírito científico é que a precisão de uma medida refira-se constantemente à sensibilidade do método de mensuração e leve em conta as condições de permanência do objeto medido. Medir exatamente um objeto fugaz ou indeterminado, medir exatamente um objeto fixo e bem determinado com um instrumento grosseiro, são dois tipos de operação inúteis que a disciplina científica rejeita liminarmente. (Bachelard, 1996, p.261)

Ou seja, o conhecimento quantitativo refere-se ao uso excessivo de abordagens quantitativas em detrimento das qualitativas na pesquisa científica. Bachelard adverte sobre os erros inerentes tanto a uma abordagem quantitativa quanto a uma qualitativa sem uma análise adequada.

Levando em consideração os obstáculos epistemológicos, vemos que a epistemologia de Bachelard tem potência para ser utilizada no Ensino de Ciências, já que ela possibilita ao professor identificar os obstáculos encontrados pelos alunos para a compreensão de conceitos científicos. Mesmo que não se destine a problematizações didáticas, nos escritos de Bachelard é possível evidenciar uma preocupação que dialoga com esse campo, haja vista sua atuação docente. É nesse conjunto que, para ele, surgem considerações, nas quais indica ser fundamental considerar que os estudantes, quando vão para a sala de aula, já possuam conhecimentos.

Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana (Bachelard, 1996, p. 23).

De acordo com Rozestraten (2020) toda aproximação objetiva a um objeto é qualitativa, logo subjetiva e a construção de conhecimento científico demanda uma ruptura com relação ao conhecimento sensível.

Um conhecimento objetivo imediato, pelo fato de ser qualitativo, já é falseado. Traz um erro a ser retificado. Esse conhecimento marca fatalmente o objeto com impressões subjetivas, que precisam ser expurgadas; o conhecimento objetivo precisa ser psicanalisado. Um conhecimento imediato é, por princípio, subjetivo [...] uma descoberta objetiva é logo uma retificação subjetiva

Bachelard usou termos como retificação, correção e ajuste para relativizar um tanto a noção mais brusca de ruptura. Sendo assim, de acordo com Rozestraten (2020), é somente a dialética com outro, com uma alteridade capaz de lançar outro olhar, que constitui a possibilidade da objetividade. Portanto essa é uma dimensão social indispensável da fundamentação científica. Às comunidades e sociedades científicas cabe, portanto, não apenas um esforço lógico, mas um papel psicológico decisivo, posto que, em termos sociais, os colegas podem ter um papel crítico mais incisivo do que os mestres.

Sendo assim, o objetivo desse referencial para este trabalho foi de buscar a compreensão de como a epistemologia de Bachelard auxilia na construção e reconstrução do conhecimento científico. Para isso, percebe-se a importância da ciência e como ela é essencial para contextualizar e identificar os obstáculos epistemológicos. Pensando na construção do pensamento científico, nota-se

conteúdos e conceitos químicos sendo tratados como se fossem inquestionáveis e verdadeiros (SANTOS, BARDINI e PASTORIZA, 2020).

Levando isso em consideração, percebe-se que a Ciência exige mudanças psicológicas importantes, mas os interesses e instintos permanecem os mesmos (CASTAÑON, 2009). Desta forma, emerge a necessidade de pensar a Ciência de forma abstrata, mas as formas de um indivíduo pensar objetivamente, expostas por todas as questões apresentadas ao longo desse texto, podem ser seus principais obstáculos. Também nota-se que pensar contra a “naturalidade” do pensamento é preciso, fundamentalmente, reformular o ensino de ciências com base em uma revisão contínua de procedimentos para o século XXI, pois essa revisão só se faz plenamente no âmbito social, coletivo, público, por uma sociedade científica - que deve ser bem mais ampla do que as universidades, em que corrobora com um contraponto às opiniões pseudocientíficas de um indivíduo ou grupo (ROZASTRATEN, 2020).

Bachelard (1996) usa a psicanálise para revisar criticamente certos aspectos psicológicos, subjetivos, do espírito ingênuo, pré-científico e científico, com o intuito de reafirmar as características fundamentais do conhecimento propriamente objetivo e da abstração científica. O espírito científico de Bachelard (1996) demonstrou os obstáculos epistemológicos de uma imagem ingênua, pré-científica, e que essas imagens podem ser percebidas e trabalhadas depois de realizar todo um processo de experimentação, confrontos, desconstruções, construções e reconstruções de abstração. A partir disso, encontrar essas imagens transformadas em um campo da imaginação poética, que é uma expressão íntima e intuitiva da metamorfose possível de ser construída entre o aprisionamento em uma imagem estática e a mobilidade do pensamento liberto, que retorna frequentemente àquelas imagens primeiras e desfrutar da convivência com elas agora ressignificadas e incorporadas ao seu imaginário científico por uma dialética-crítica (ROZASTRATEN, 2020).

Por fim, percebe-se que a epistemologia de Bachelard é potente para esse trabalho por principalmente dois motivos, sendo o primeiro de apresentar um procedimento metodológico descritivo-analítico que é, por si só, uma forma científica de construir conhecimento sobre as metáforas da imaginação, sobre as pseudociências e as ciências propriamente ditas. E segundo por Bachelard usar a psicanálise para construir uma interface entre objetividade (pseudo-objetividade) e subjetividade no campo das ciências, demonstrado pelos obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1996),

o que permite tratar sobre temas próprios à imaginação e ao imaginário sem usar esses termos.

2.2 Ácidos e bases

Segundo Pinheiro, Bellas e Santos (2016), a Química opera mediante uma rede conceitual dinâmica que possibilita o estudo de seus objetos. A compreensão desta rede exige a identificação de conceitos estruturantes - ideias fundamentais que organizam o pensamento químico e influenciam diretamente suas práticas de pesquisa e ensino. Destaca-se que esta estrutura não é estática, mas evolutiva, com conceitos passíveis de reformulação ao longo do tempo. Os conceitos de ácidos e bases exemplificam essa dinamicidade: presentes antes mesmo da institucionalização da Química como ciência, foram redefinidos continuamente através de distintos referenciais teóricos (NUNES et al., 2016).

Chagas (2000) examina os atributos que definem teorias científicas de qualidade, distinguindo-as das deficientes. Uma teoria robusta deve cumprir três funções basilares: em primeiro lugar, precisa explicar e organizar os fenômenos de seu domínio com critérios inequívocos e estrutura lógica coerente; em segundo lugar, deve formular questões que impulsionem o avanço científico, incorporando previsões empiricamente testáveis; por fim, necessita apresentar utilidade prática, simplicidade operacional e conceitos adequados ao contexto histórico. Complementando essa análise, Einstein destacou que a divulgação teórica, particularmente em materiais didáticos, exerce influência decisiva na aceitação das teorias.

Junto disso, Gagliardi (2006) conceitua conceitos estruturantes como alicerces “catalisadores” que promovem transformações paradigmáticas nas ciências, impulsionam novas teorias e programas de pesquisa, além de introduzirem instrumentos conceituais inovadores. Esta visão é corroborada por Lima e Barboza (2005), que definem ideias estruturadoras como estruturas cognitivas capazes de potencializar a síntese de conhecimento, estabelecer relações conceituais e formular explicações a partir de saberes prévios, funcionando como núcleos integradores em redes de pensamento.

Os conceitos de ácidos e bases exemplificam essa dupla dimensão estruturante. Por um lado, configuram ferramentas conceituais fundamentais para compreender reações químicas, conforme destacado por Pinheiro, Bellas e Santos (2016). Por outro

lado, mantêm seu caráter estruturante, tal como definido por Gagliardi (2006) e Lima e Barboza (2005), continuando a fomentar pesquisas científicas. Adicionalmente, demonstram relevância transdisciplinar, manifestada especialmente na biologia, onde reações com características ácido-base regulam processos fisiológicos humanos, conforme documenta Lima et al. (2015) em estudos sobre dinâmicas de íons H^+ no organismo. Taber (2012, p.184) argumenta que o ensino inicial de ácidos e bases parece ter mudado pouco ao longo das décadas, com ênfase nas propriedades dessas classes de compostos e suas reações com outros materiais e entre si. Sendo que é em níveis mais elevados de explicação que ocorreram algumas mudanças significativas.

Silva e Lima (2020) destacam a relevância dos conceitos de ácido e base para o ensino de química enumerando quatro fatos, sendo eles:

(a) são conteúdos oficialmente recomendados para a Educação Básica; [...] (b) são conteúdos de destaque nas disciplinas de Química Básica para Cursos de Química [...] (c) uma grande quantidade de artigos acerca do seu ensino tem sido publicada [...] (d) o tema também tem sido objeto de constante presença nas publicações nacionais de Ensino de Ciências/Química. (Silva e Lima, 2020, p.158)

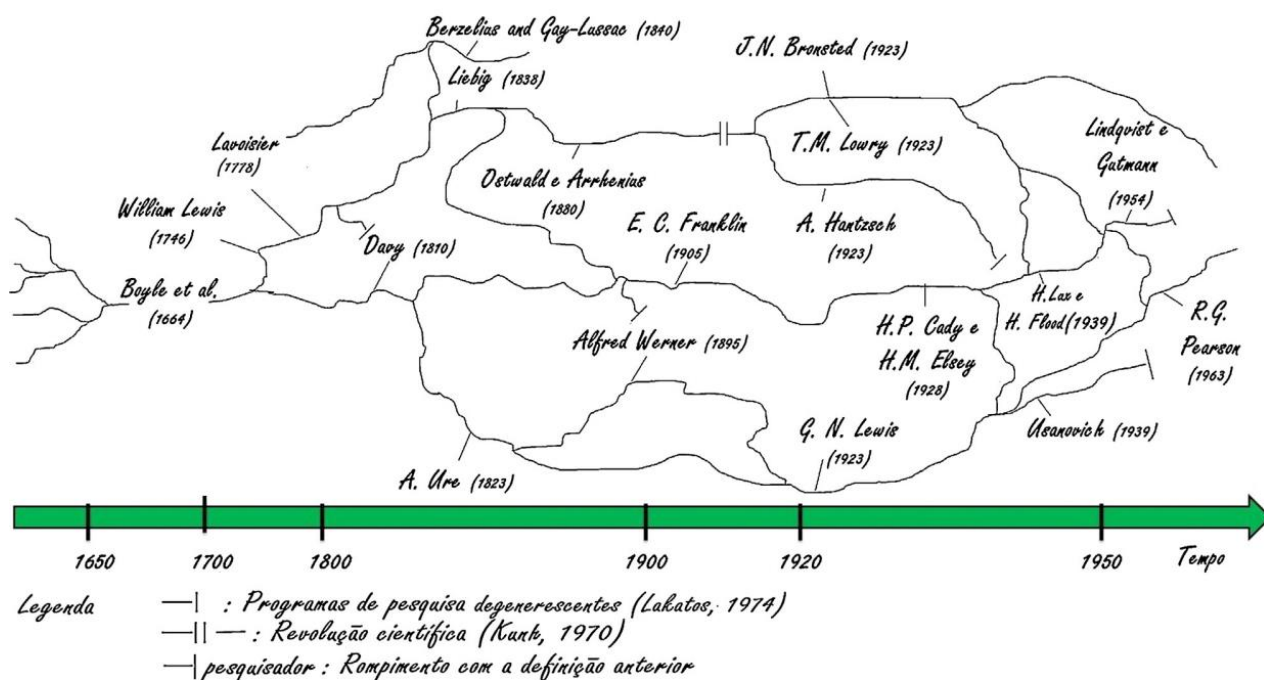
Diante do exposto, evidencia-se a relevância dos conceitos de ácidos e bases para esta investigação. Conforme Silva e Santiago (2012), substâncias ácidas e básicas eram conhecidas desde civilizações antigas. A egípcia, por exemplo, destacou-se no domínio químico: foi pioneira na obtenção de compostos como a amônia, registrada no Papiro de Ebers. Na mitologia local, Thoth era considerado o criador do vinho e seu povo dominava processos fermentativos, tanto alcoólicos quanto acéticos, para produzir vinho e vinagre. A concepção original de ácido, contudo, remonta aos gregos, vinculada à percepção gustativa. O termo deriva do grego "oxein", que originou o latim "acere" (azedo), dando nome ao ácido acético. Já "alcalino" provém do árabe "*al qaliy*" (cinzas vegetais), referindo-se à obtenção de potássio de cinzas, embora outras fontes naturais também fornecessem álcalis. Como registra Chagas (2000), Plínio, o Velho (século I d.C.) já descrevia a caustificação da soda: reação entre carbonato de sódio natural (barrilha) e hidróxido de cálcio (cal) em meio aquoso, resultando em precipitação de carbonato de cálcio e solução de hidróxido de sódio.

De forma a corroborar com essa ideia, outros autores, como Souza e Aricó (2017) analisam a trajetória histórica de autores que publicaram trabalhos científicos classificando, interpretando e definindo os conceitos de ácido e base. Os autores destacam que a palavra "ácido" tem origem no latim *acidus* (azedo). De forma semelhante, Chagas (2000) aponta que "álcali" deriva do árabe *al qaliy*, referindo-se às

cinzas vegetais. A etimologia de "sal" remonta ao latim *sal*, *salis*, associado ao sal marinho. Embora o termo "base" tenha sido introduzido pelo francês H. L. Duhamel du Monceau em 1736, substâncias com propriedades opostas aos ácidos já eram conhecidas desde a Antiguidade (JENSEN, 1980).

Essas hipóteses iniciais eram sustentadas por argumentos frequentemente rudimentares, contraditórios em relação ao conhecimento científico vigente ou de natureza filosófica (MARTINS, 2006). Baseados no processo complexo de produção da Ciência e orientados por uma perspectiva filosófica articulada a discussões de Lakatos e Kuhn, Souza e Aricó (2017) elaboraram um mapa cronológico, apresentado na Figura 1. Sua proposta busca elucidar as complexas relações entre as definições ácido-base ao longo do tempo. Para facilitar sua leitura, adota-se a seguinte codificação: linhas sinuosas representam trabalhos científicos desenvolvidos por tentativa e erro, nos quais hipóteses precederam observações e experimentos. Conforme Souza e Aricó (2017), essa abordagem equivale a ajustes *ad hoc* no "cinturão protetor" (nos termos de Lakatos), que não geram novas previsões ou descobertas. Terminações com um único traço indicam a descontinuidade de uma linha de pesquisa, sinalizando a ausência de novos trabalhos fundamentados nessas ideias pioneiras. Essa simbologia remete ao conceito de degenerescência em pesquisas, análogo ao declínio de programas de pesquisa descrito por Lakatos (1974) como "programas degenerescentes".

Figura 1: Mapa cronológico das teorias de ácido-base. Mapa cronológico do progresso das definições ácido-base nos últimos séculos.



Souza e Aricó (2017) alegam que as mudanças radicais (dois traços consecutivos na linha) aconteceram quando os pesquisadores perceberam que as abordagens de pesquisa que estavam seguindo não eram mais capazes de explicar novos fenômenos ou eram inadequadas para a época. Eles retiveram os conceitos fundamentais da definição anterior, mas propuseram novas hipóteses que pudessem explicar os novos eventos e avançar no entendimento. Esses eventos são semelhantes aos paradigmas descritos por Kuhn (1970), que sugerem que os cientistas, ao adotarem um novo paradigma, devem primeiro passar por um processo de ruptura com o paradigma anterior.

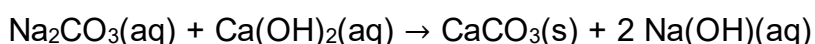
Quando percebemos as linhas sinuosas no mapa que terminam com um traço, que está em frente a um nome de pesquisador, tem o objetivo de indicar que o pesquisador criticou veementemente as definições propostas que seguiram a linha sinuosa até a terminação com o nome do pesquisador. Desta maneira, tais definições divergem das propostas de definição do pesquisador. Algumas conexões de linhas sinuosas entre pesquisadores contemporâneos não foram representadas pelos autores para não deixar o mapa muito complexo e confuso. A ausência destas conexões não indica que estes pesquisadores não tinham conhecimento ou não receberam influência das propostas uns dos outros. Portanto, é possível que Gilbert Newton Lewis (1875-1946) e outros pesquisadores pudessem ter, em algum momento de sua vida, o conhecimento e a influência na sua linha de pesquisa de outros pesquisadores como

Svante August Arrhenius (1859-1927), Johannes Nicolaus Bronsted (1879-1947), Thomas Martin Lowry (1874-1936), entre outros, que no mapa não se apresentam conectados.

Ainda possível vincular discussões sobre o mapa, Chagas (2000) traz dados sobre como segundo Plínio, o Velho, renomado naturalista romano, que viveu no primeiro século depois de Cristo, o sal é o sólido que resta quando a água evapora, o que naturalmente engloba o sal marinho, além de outros materiais que podem ser obtidos dessa maneira. Quanto à base, um termo mais recente foi introduzido pelo francês Duhamel du Monceau em 1736 e posteriormente foi adotado e difundido por G. F. Rouelle em 1754 (JENSEN, 1980) referindo-se aos álcalis, às terras e aos metais. As terras também eram chamadas de cales ou cais (cal no singular). Isso levou a um novo entendimento de:



Plínio, o Velho, mencionado anteriormente, descreve em seus textos o processo de caustificação da soda. Isso se refere à reação entre o carbonato de sódio natural, conhecido como natron na época e hoje chamado de soda ou barrilha, e a cal, que é o hidróxido de cálcio, em uma solução aquosa. Nessa reação, ocorre a precipitação de carbonato de cálcio, deixando uma solução de hidróxido de sódio, que é comumente conhecida como soda cáustica. A equação que representa esse processo é:



É possível que existam numerosos estudos anteriores a 1664, que foi o ano em que Robert Boyle escreveu seu livro *Experimental History of Colours*. No entanto, apenas analisando o mapa cronológico, percebemos a concentração apenas nos trabalhos após essa data. De acordo com Souza e Aricó (2017), a obra de Boyle desempenha um papel crucial, uma vez que inclui resultados de estudos dos séculos anteriores ao XVII e reforça a ideia de que a pesquisa científica é um esforço coletivo. Raramente um cientista começa do zero; em vez disso, eles constroem sobre os trabalhos anteriores, como se estivessem pegando o trem em movimento. No livro, Boyle descreve suas pesquisas com substâncias coloridas, cujas cores sofrem alterações na presença de ácidos ou álcalis. Entre as substâncias investigadas por Boyle estão o tornassol e o corante vermelho extraído do pau-brasil. Uma observação interessante é que Boyle inclui resultados obtidos por estudiosos do século anterior em sua obra (CHAGAS, 2000). No século XVII, já se conhecia a reação:



Conforme demonstrado no mapa cronológico de Souza e Aricó (2017), as ramificações anteriores à publicação de Boyle evidenciam a influência que há a partir de outros autores em seu trabalho. A partir do final do século XVII, pesquisadores passaram a definir propriedades dos ácidos mediante sua interação com outras substâncias. W. Homberg realizou as primeiras medições de proporções entre ácidos e bases em 1699, mas coube a C. Geoffroy, em 1729, executar a primeira titulação documentada — utilizando soda (Na_2CO_3) e diferentes vinagres.

Em 1789, fundamentado em sua teoria da combustão, Antoine Laurent Lavoisier propôs que "o oxigênio é o princípio acidificante", indicando que ácidos necessariamente conteriam esse elemento. Contudo, dois anos antes (1787), Claude Louis Berthollet já havia descrito ácidos desprovidos de oxigênio, como o cianeto de hidrogênio e o sulfeto de hidrogênio (JENSEN, 1980). Souza e Aricó (2017) destacam como surpreendente o apoio prolongado de Berzelius e Gay-Lussac à definição de Lavoisier até 1840, mesmo diante de publicações sobre ácidos sem oxigênio no período. Humphry Davy, em 1810, não apenas descreveu tais ácidos, como já refutara a ideia de que o cloro continha oxigênio por ser ácido. Sua declaração dizendo que "a acidez não depende de qualquer substância elementar específica, mas de um arranjo peculiar entre diversas substâncias" antecipa as bases das definições contemporâneas. Embora Davy posteriormente tenha aderido à crescente concepção de que ácidos contêm hidrogênio, conforme apontam Souza e Aricó (2017), seu legado é fundamental. O mapa cronológico reflete essa dualidade: após 1800, dois pesquisadores surgem em linhas divergentes, representando concepções antagônicas sobre ácidos. Essas correntes opostas, de modo significativo, influenciaram diretamente as definições empregadas atualmente.

Chagas (2000) afirma que em 1746 William Lewis (1708-1781) utiliza pela primeira vez um indicador em uma titulação, descrevendo características ácidas, como sabor azedo e efervescência com cal, enquanto as bases foram classificadas com propriedades opostas às dos ácidos. Dentro do seu Sistema do Oxigênio, que incluía também uma teoria da combustão, é relevante destacar duas afirmações feitas no século XIX: A primeira, de Andrew Ure em 1823 (1778-1857), sugere que não existe um único princípio ou elemento que determine a acidez, nem critério absoluto para a força relativa entre diferentes ácidos. Segundo ele, a acidez e a alcalinidade dependem mais da forma como os elementos estão combinados do que da natureza intrínseca desses elementos. A segunda afirmação, por Liebig em 1838, postula que os ácidos

são compostos que contêm hidrogênio, e que esse hidrogênio pode ser substituído por metais.

Essas duas perspectivas continuarão a influenciar os debates sobre ácido-base no século XX. A visão de Ure enfatiza que o comportamento ácido-base é determinado pela forma como os elementos estão combinados, pela estrutura molecular, como seria descrito nos dias de hoje. Por outro lado, a abordagem de Liebig atribui esse comportamento ácido-base a um elemento específico, o hidrogênio (CHAGAS, 2000).

Andrew Ure contestava a existência de um princípio acidificador único e de critérios absolutos para hierarquizar a força dos ácidos. Segundo Chagas (2000, p.128), Ure defendia que "a acidez e a alcalinidade dependem mais da combinação dos constituintes do que de sua natureza intrínseca". Essa perspectiva, representada na 'árvore cronológica' de definições ácido-base de Lewis e Usanovich (1894-1981), mantém influência nos conceitos contemporâneos. Conforme Souza e Aricó (2017), o topo do mapa destaca Justus von Liebig (1803-1873), que em 1838 classificou ácidos como compostos contendo hidrogênio substituível por metais - alinhando-se ao comportamento de ácidos orgânicos (BELL, 1947, p.114; JENSEN, 1980, p.25). Embora ambos (Liebig e Ure) tenham sido influenciados por Humphry Davy, adotaram visões antagônicas: Ure advogava pela relatividade classificatória, enquanto Liebig sustentava rigidamente a centralidade do hidrogênio. Essa dicotomia é visualizada no mapa pela distância entre suas linhas temporais. Ambas as teorias prevaleceram até a emergência da dissociação eletrolítica. Entre 1880-1890, Ostwald e Arrhenius estabeleceram que apenas espécies geradoras de íons H^+ em solução aquosa exibiam acidez, utilizando a constante de dissociação como parâmetro de força (ARRHENIUS, 1903). Souza e Aricó (2017) observam que a definição arrheniana reflete o extremismo liebiguiano ao restringir ácidos à liberação de H^+ aquoso. Apesar da crítica imediata de Alfred Werner (1895) - figura central na química de coordenação -, a concepção de Arrhenius consolidou-se como padrão didático, frequentemente apresentada sem menção às suas limitações. Paralelamente, Edward Curtis Franklin propôs em 1905 uma alternativa não extremista: a teoria dos sistemas solventes, onde ácidos e bases são definidos pelo aumento da concentração dos íons característicos do solvente. Revisada por Cady e Elsey (1928), essa abordagem contextual ganhou adeptos. O ano de 1923 marcou uma explosão de propostas independentes, como Bronsted reformulou a definição de Arrhenius, rejeitando a dependência do solvente; Lowry explorou a diversidade química do hidrogênio com base em cristalografia; Lewis reformulou o

conceito através de sua teoria de valência; Hantzsch apresentou contribuições adicionais.

Posteriormente, Ralph G. Pearson (1963) expandiu a teoria de Lewis em complexos metálicos, desenvolvendo a classificação HSAB (ácidos/bases duros e moles), com raízes nas obras de Werner. Essa construção histórica mostra como fatores extra científicos (sociais, políticos e econômicos) moldaram a transformação conceitual, oferecendo ideias sobre a complexidade do desenvolvimento científico.

Diante da discussão conceitual sobre ácidos e bases, compreende-se que – conforme Chagas (2000) – o reconhecimento do comportamento ácido-base remonta a períodos históricos distantes. O autor sustenta que, desde essa percepção inicial, químicos vêm desenvolvendo arcabouços teóricos para explicar tal fenômeno. Essas estruturas conceituais buscam não apenas delimitar a natureza de ácidos e bases e seus mecanismos reacionais, mas também abordar aspectos complementares. Vale destacar que, segundo vertentes teóricas contemporâneas, a maioria das substâncias conhecidas exibe esse comportamento, atribuindo ao tema relevância ímpar nos estudos químicos. Chagas (2000) fundamenta historicamente essa trajetória, apontando as seguintes vantagens:

As partes de seu desenvolvimento, que serão destacadas, ocorreram neste século, o que traz menos dificuldades no que se refere ao entendimento do contexto cultural da época. Tem um desenvolvimento praticamente linear com o tempo (caso raro), o que facilita muito o seu entendimento. Pode ser correlacionada facilmente com a parte química propriamente dita, inclusive na parte experimental. Permite discutir, com certa facilidade, o desenvolvimento das teorias científicas, inclusive nos aspectos lógicos e filosóficos, se isto for o caso. Permite mostrar que a Química é a associação de uma teoria e uma prática, ou seja, um pensar em termos moleculares e um proceder empírico, fenomenológico, pois um mesmo fato pode ser interpretado de vários pontos de vista. (CHAGAS, 2000, p. 127)

Hoje reconhece-se que Svante Arrhenius, Johannes Bronsted e Thomas Lowry, além de Gilbert Lewis, são os principais químicos referenciados para discorrer sobre o conteúdo de ácido e base (Santos e Santos, 2021). Entende-se que o conhecimento sobre este conteúdo é de extrema importância para estabelecer relações conceituais da química relacionada ao conceito de reações químicas, bem como, a outras áreas de conhecimento, a exemplo, pode-se evidenciar essa temática dentro da biologia, na qual grande parte das reações que acontecem no organismo humano demonstra características de reações ácido-base (Lima, et al. 2015).

Destaca-se a importância de investir em cursos de graduação que façam a inclusão da história da ciência em seu currículo, com finalidade de formar professores

capazes de adotar abordagens inovadoras no ensino de Química e promover a alfabetização científica. (RODRIGUES; RODRIGUES JUNIOR; OLIVEIRA, 2020) Sendo assim, vemos como importante fornecer aos professores estratégias de ensino eficazes para a implementação bem-sucedida da história da ciência na sala de aula, levando em consideração as possíveis dificuldades que os professores podem enfrentar ao aplicar essas estratégias. Destaca-se também, a importância de investir em cursos de graduação que façam a inclusão da história da ciência em seu currículo, a fim de formar professores capazes de adotar abordagens inovadoras no ensino de física e promover a alfabetização científica (MARTINS, 2005).

De acordo com Beltran (2024) a trajetória dos conceitos de ácidos e bases evidenciam múltiplas formas de compreender a ideia de ácidos e bases, desde elementos constitucionais até funcionais, trazendo uma ideia de pluralidade de perspectivas. Desde as caracterizações elementares de Liebig (1838) que vinculava a acidez à presença de hidrogênio substituível, até as formulações eletrônicas de Lewis (1923), que redefiniram o fenômeno como processo de aceitação de pares de elétrons, evidencia-se um espectro conceitual que abrange critérios constitucionais (focados na composição molecular), abordagens funcionais (centradas no comportamento reativo) e modelos contextuais (dependentes de solventes, como na teoria de Franklin).

Essa multiplicidade interpretativa, mapeada por Souza e Aricó (2017) em sua análise das rupturas e continuidades teóricas, não constitui mera sucessão cronológica, mas sim um entrelaçamento complexo de ideias. A persistência da definição lavoisieriana por décadas após sua refutação por Davy (1810), ou a coexistência antagônica das visões de Ure (relativista) e Liebig (essencialista), demonstram como o desenvolvimento científico se estrutura em tensões entre permanências e superações.

Diante desta complexidade, a compreensão do fenômeno ácido-base exige uma articulação pela via epistemológica e didática. A via epistemológica, que permite desvendar as relações entre propostas teóricas concorrentes, identificando não apenas obstáculos superados, mas também ideias que catalisaram avanços, caso da noção de "arranjo molecular" antecipada por Ure (1823) e posteriormente desenvolvida por Lewis.

Pela via didática que organiza esses elementos históricos e conceituais em sistemas coerentes de sistematizar o conhecimento, possibilitando a apropriação crítica por novos sujeitos. Esta dimensão manifesta-se, por exemplo, na hegemonia da

abordagem arrheniana em livros didáticos, opção pedagógica que simplifica, mas também reduz, a riqueza conceitual do fenômeno.

Essa dupla articulação fundamenta os desdobramentos metodológicos desta pesquisa. No percurso epistemológico adotaremos o referencial bachelardiano para analisar a construção histórica dos conceitos de ácidos e bases. A epistemologia de Bachelard, com sua ênfase nas discontinuidades e obstáculos epistemológicos, oferece o instrumental para examinar como as "ideias mal compreendidas" (como o princípio acidificante de Lavoisier) transformaram-se em fatos para o historiador, mas em obstáculos a superar para o epistemólogo. A análise didática está voltada para o modo como esses conhecimentos são mobilizados nos espaços escolarizados formais, investigando os processos de didatização em livros do Ensino Básico e Superior. Aqui, a preocupação central será avaliar como as escolhas pedagógicas refletem (ou não) as complexidades identificadas na trajetória epistemológica.

3. Metodologia

Esta dissertação estrutura-se na interconexão entre as dimensões epistemológica, conceitual e didática. Essa articulação fundamenta a análise dos conceitos de ácidos e bases, considerando simultaneamente sua construção científica e sua mediação pedagógica. A integração manifesta-se mediante a utilização do eixo tanto histórico quanto epistemológico como mecanismo para compreender a trajetória conceitual das definições de ácidos e bases, elucidando como emergiram e se transformaram mediante contradições e reconstruções teóricas. Esse entendimento, por sua vez, direciona e qualifica a análise didática subsequente, permitindo examinar como os livros didáticos do Ensino Básico e Superior traduzem tais conceitos em suas abordagens pedagógicas.

Para isso, essa dissertação está organizada em formato de artigos, em que cada um deles tem uma metodologia específica e com finalidade de não se repetir (estas estarão descritas em cada artigo, juntamente com os objetivos deles). O artigo 1 faz uma pesquisa de cunho histórico, epistemológico e ontológico para entender como os conceitos de ácidos e bases foram construídos, disposto no capítulo 4 desta dissertação; O artigo 2 busca fazer uma análise dos LD do Ensino Básico (EB), disposto no capítulo 5 desta dissertação; e o artigo 3 tem a ideia de analisar os LD do Ensino Superior (ES), disposto no capítulo 6 desta dissertação. Após a elaboração

desses artigos, com o intuito de atingir o objetivo deste trabalho, disposto no capítulo 7, foi feita uma análise que buscou comparar as discussões entre os 3 artigos, com intuito de buscar elucidar como os conceitos científicos, em particular, os de ácidos e bases, são dispostos nos livros didáticos e quais elementos de didatização são evidenciados ao serem mediados para diferentes contextos educacionais. Desta forma, a construção desta dissertação se baseou em três metodologias de pesquisa, sendo elas a Revisão Bibliográfica, Análise de conteúdo e Percorso Epistemológico.

De acordo com Gil (2002), a revisão bibliográfica é dedicada à contextualização teórica do problema de pesquisa e ao seu relacionamento com o que tem sido investigado sobre o tema. Essa etapa deve esclarecer os pressupostos teóricos que fundamentam a pesquisa e as contribuições de estudos anteriores. É importante destacar que essa revisão não pode se limitar a referências ou sínteses dos estudos feitos, mas deve incluir uma discussão do "estado atual da questão". Quando esta parte se mostra muito extensa, pode ser apresentada como capítulo independente, logo após a introdução.

Cavalcante e Oliveira (2020) caracterizam e identificam as especificidades dos diferentes tipos de revisão bibliográfica utilizados no meio acadêmico, abordando suas metodologias, aplicações, vantagens e limitações. Esse estudo é particularmente relevante porque destaca como, diante do aumento da produção científica nas diversas áreas do conhecimento e da velocidade com que essa produção tem sido divulgada, tornam-se necessários estudos que sistematizem os avanços científicos.

Relacionando as contribuições a partir dos trabalhos encontrados na literatura, a revisão bibliográfica se configura como um elemento importante no processo de investigação científica, assumindo diferentes formatos e funções conforme a área de conhecimento e os objetivos da pesquisa. Sendo útil para este trabalho tanto no estudo dos referenciais teóricos, quanto na investigação dos materiais a partir das fontes primárias de dados e um processo de análise de textos originais dos autores estudados e de suas principais referências.

A Análise de Conteúdo (AC) é definida por Bardin (1977) como um conjunto de instrumentos metodológicos fundamentados na dedução, ou seja, na inferência, em que se afirma a veracidade de uma proposição com base na sua relação com outras proposições previamente reconhecidas como verdadeiras. Portanto, a Análise de Conteúdo é uma importante metodologia de investigação, cujo seu objetivo é identificar significados e interpretar sentidos, tendo como principal característica a inferência.

Esta análise foi particularmente importante para a elaboração dos artigos 2 e 3, utilizando as três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados. Então, a Análise de Conteúdo busca conhecer e compreender aquilo que se está por trás das palavras. Nesse sentido, o ponto de partida da Análise de Conteúdo é a mensagem, pela qual se “expressam as representações sociais na qualidade de elaborações mentais construídas socialmente, a partir da dinâmica que se estabelece entre a atividade psíquica do sujeito e o objeto do conhecimento” (Franco, 2021, p. 12). Então, a mensagem traz sentidos que surgem da relação entre como o indivíduo pensa e sente (atividade mental) e o mundo à sua volta (a realidade social e cultural). A AC vai justamente buscar entender essas camadas de significados nas mensagens.

E por fim, o percurso epistemológico é uma ideia construída pelo próprio grupo de pesquisa do qual faço parte. Conforme Schiavon, et al. (no prelo), denominamos Percurso Epistemológico o caminho investigativo que percorre a gênese, o desenvolvimento e as transformações de um conceito em determinado campo do conhecimento. Esta abordagem não é apenas uma simples linha do tempo de debates, envolvendo a detecção dos fundamentos teóricos, das conexões históricas e das tensões conceituais que forjaram a noção estudada. Constitui-se, assim, num processo crítico-reflexivo que contextualiza o conceito em sua origem e decifra suas ressignificações ao longo da história com o objetivo de fazer aprofundamentos visando pensar na construção epistemológica de um conceito, no caso desta dissertação, dos Ácidos e Bases. Nesse percurso o foco é olhar para as ideias que auxiliaram na construção dos conceitos de forma epistemológica, justamente olhando para eles sem a intenção de pensar didaticamente ou historicamente, particularmente importante para o artigo 1.

Para o desenvolvimento do Percurso Epistemológico requer-se o exame das múltiplas influências que concorrem para a construção conceitual, através de pesquisa dos trabalhos mais fundamentais na área, considerando os mais presentes e recorrentes nos processos de se aproximar, aprender e utilizar a Química. Isto é, analisar tanto as fontes primárias como artigos científicos, obras referenciais e documentos históricos, quanto as análises críticas e debates travados por comentadores, historiadores da ciência e epistemólogos. Desta maneira, almeja-se não só mapear sua trajetória, mas também evidenciar os conflitos teóricos e as rupturas que caracterizaram sua consolidação. Essa relação com os conceitos trazem a ideia de

analisar os trabalhos originais dos autores dos modelos ou teorias que são discutidos, sendo assim, trazer as ideias a partir da análise das referências que foram utilizadas para a construção da fonte primária.

Nesse sentido, a perspectiva de Gaston Bachelard fornece um aporte fundamental ao evidenciar que o conhecimento não se desenvolve de modo contínuo e linear, mas através de descontinuidades e superações sucessivas. Sua noção de ruptura epistemológica nos habilita a entender que, frequentemente, um conceito não apenas se aprimora gradualmente, mas exige uma ruptura com as formas de pensar anteriores para se consolidar. Desse modo, o percurso epistemológico aqui destacado não se resume a uma reconstituição temporal de eventos ou fatos; ele almeja discernir os momentos em que emergem novas visões de mundo que transformam a compreensão do conceito.

Sendo assim, percebemos que o uso do referencial de Gaston Bachelard é importante, pois traz consigo uma potencialidade de abordar essas discussões sobre a construção do conceito científico. A ideia de ruptura epistemológica é relevante para esse entendimento, argumentando como a construção do conhecimento não ocorre de forma linear e cumulativa, pois ele nos permite utilizar conceitos focados na construção das ideias (e não meramente nos fatos), nos permitindo julgar o passado com os conhecimentos do presente, proporcionando assim um olhar mais aprofundado para esta investigação.

Importante destacar que, embora fundamentado nas concepções de Gaston Bachelard, o Percurso Epistemológico aqui adotado acaba se diferenciando significativamente tanto do seu perfil epistemológico quanto da epistemologia histórica. Se o Perfil Epistemológico bachelardiano propõe um sistema classificatório para as diferentes formas de pensamento científico ao longo do tempo, nosso Percurso Epistemológico não visa categorizar ideias em esquemas rígidos ou tipologias fixas. Em contraste, o Percurso Epistemológico, tal como concebido neste trabalho, prioriza a análise crítica e histórica da formação de um conceito, sem classificá-lo dentro de modelos predeterminados. O Percurso Epistemológico pode ser compreendido como um recorte direcionado dessa abordagem histórica. Se tratando de um instrumento interpretativo que busca fazer uma organização e destacar quais foram as principais ideias da construção de um conceito, sem a pretensão de reconstruir a totalidade do processo histórico em sua complexidade integral.

4. Prelúdio ao artigo sobre a Construção dos conceitos de Ácidos e Bases

Para fazer a investigação dos conceitos de Ácidos e Bases, este artigo se dedica a um aprofundamento na construção epistemológica e ontológica desses conceitos. O foco aqui é voltado para os aspectos que envolvem a gênese e a construção do entendimento sobre Ácidos e Bases. Com base nos conteúdos analisados, busca-se discutir como o conceito foi moldado ao longo do tempo e quais são as diferenças conceituais propostas.

Em uma perspectiva epistemológica, essa etapa da pesquisa propõe-se a investigar as principais contribuições para a formação do conceito, considerando as influências históricas e epistemológicas. Assim, este artigo não visa traçar um percurso que analisa os conteúdos didáticos, refletindo exclusivamente sobre os fundamentos epistemológicos que sustentam a construção dos conceitos, elucidando as ideias que deram origem e as transformações desse conhecimento ao longo do tempo. Nesse sentido, o texto consiste em realizar um percurso epistemológico discutindo sobre a construção dos conceitos de ácidos e bases, com ênfase nas teorias de Arrhenius e Lewis por conta das suas diferenças ontológicas.

Este artigo, como o todo, está formatado nas normas da UFPel. Um recorte deste trabalho foi encaminhado para submissão para a Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC).

4.1 Artigo 1:

Construção dos conceitos de Ácidos e Bases: Uma análise histórica, ontológica e epistemológica das ideias

Guilherme Brahm dos Santos¹, Alessandro Cury Soares², Bruno dos Santos Pastoriza².

Resumo

Este artigo analisa a construção histórica, ontológica e epistemológica dos conceitos de ácidos e bases. O estudo destaca como as definições de ácidos e bases foram construídas ao longo do tempo, influenciadas por contextos experimentais e teóricos específicos. A teoria de Arrhenius (1887), centrada

na liberação de íons H^+ e OH^- em solução aquosa, é examinada como um exemplo de ontologia materialista, enquanto a teoria de Lewis (1923), que define ácidos como aceptores e bases como doadoras de pares eletrônicos, representa uma ontologia de processo. A metodologia adotada é qualitativa, baseada na análise documental de obras originais e fontes secundárias. A análise epistemológica, inspirada em Bachelard, demonstra que essas teorias, embora distintas, são complementares, cada uma válida em seu contexto. O artigo conclui que a construção dos conceitos de ácidos e bases ilustra a natureza dinâmica do conhecimento científico, marcada por rupturas e continuidades. A dualidade ontológica reflete a complexidade da química como ciência e a importância de abordar conceitos sob múltiplas perspectivas.

Introdução

De acordo com Lima e Barboza (2005), os conceitos funcionam como instrumentos fundamentais para refletirmos sobre o mundo e sobre nós mesmos. Eles são importantes para nossa atuação na realidade, na interação com os outros e na construção de novas formas de pensamento. Além disso, representam uma atividade criativa que pode possibilitar a invenção de novas perspectivas para compreender aquilo que, inicialmente, parece incompreensível. Dessa maneira, os conceitos químicos possuem um grande potencial para contribuir na formulação do pensamento sobre os fenômenos da natureza.

No caso específico dos conceitos de ácidos e bases, trata-se de ideias que surgiram há séculos e que passaram por diversas reformulações ao longo do tempo (Nunes, Dantas, Oliveira e Hussein, 2016). Atualmente, reconhece-se a contribuição de Svante Arrhenius, Johannes Bronsted, Thomas Lowry e Gilbert Lewis como os principais¹ cientistas que fundamentaram o estudo sobre ácidos e bases (Santos e Santos, 2021). Porém, também é relevante destacar que existem outros cientistas que propuseram diferentes teorias sobre ácidos e bases, uma vez que o conceito de comportamento ácido-base é conhecido há séculos.

De acordo com Chagas (1999), os termos "ácido" e "sal" remetem à Antiguidade, enquanto "álcali" surgiu na Idade Média e "base" foi introduzido no século XVIII. No século XVII, Robert Boyle (1661) investigou o uso de indicadores, incluindo o corante vermelho extraído do pau-brasil. Já no século XVIII, os indicadores passaram a ser amplamente utilizados em titulações para a identificação de substâncias. As teorias ácido-base, que buscam explicar esse comportamento com base em princípios gerais,

¹ Assumindo que são os mais presentes e recorrentes nos processos de se aproximar, aprender e utilizar a química. Isso, provavelmente, é revisito quando temos uma noção histórica dessas ideias, mas é inegável que, inicialmente, esses citados são os mais presentes.

também possuem uma longa trajetória. As mais relevantes, incluem a teoria de Arrhenius (1887), que definiu ácidos como substâncias que liberam H^+ em solução aquosa e bases como aquelas que liberam OH^- ; a teoria dos sistemas solventes proposta por Franklin (1905), que expandiu o conceito para solventes não aquosos; a teoria protônica de Bronsted (1923) e Lowry (1923), que descreveu ácidos como doadores de prótons e bases como receptoras; e a teoria eletrônica de Lewis (1923), que definiu ácidos como aceptores de pares de elétrons e bases como doadoras.

Outras contribuições incluem as teorias de Lux (1939) e Flood *et al.* (1947), voltada para reações em óxidos fundidos, onde ácidos são aceptores de O_2^- e bases são doadores desse íon, segundo Chagas (1999), a teoria de Usanovich (1939) que ampliou a definição ao considerar ácidos como doadores de cátions ou aceptores de ânions e elétrons. Além dessas, outras abordagens ampliam o entendimento sobre ácidos e bases. A teoria HSAB (Hard and Soft Acids and Bases (1963), proposta por Ralph Pearson, introduziu a distinção entre ácidos e bases duros e moles, útil para prever a estabilidade de complexos químicos. Já a teoria de Gutmann (1976) desenvolveu o Número de Acidez e Número de Basicidade, permitindo quantificar essas propriedades em diferentes solventes.

Mais detalhadamente, os conceitos de ácidos e bases podem ser abordados de diferentes maneiras, considerando suas características e propriedades, composição química, reações de dissociação, associação com outros conceitos, estrutura atômica e molecular, etc. Essas diferentes abordagens contribuem com o ensino da Química, permitindo que o conhecimento sobre ácidos e bases seja aplicado em diversos contextos (NUNES *et al.*, 2016; SANTOS E SANTOS, 2021). Um dos pontos filosóficos que é importante abordar ao se falar sobre a construção dos conceitos, são as categorias ontológicas dos conceitos científicos, às quais Souza e Silva (2018) apresentam distinções significativas. De acordo com Paik (2015) essa diferença, durante o aprendizado, torna difícil para o estudante alterar o status ontológico de um conceito prévio ao de um novo. Sob essa perspectiva, Souza e Silva (2018) discutem sobre o trabalho de Paik (2015) que a definição de Arrhenius descreve ácidos e bases como entidades materiais, enquanto a de Bronsted-Lowry os aborda como um processo de reação entre substâncias. Sendo assim, para os autores, considerando que a Química estuda a matéria e suas transformações, Souza e Silva (2018) argumentam que é possível notar que a definição de Arrhenius enfatiza a matéria em si, enquanto a de Bronsted-Lowry está ligada à reação química. Já a definição de

Lewis, ainda relacionada a reações, amplia esse escopo, incluindo processos que vão além da transferência de prótons (H^+). Dessa forma, uma vez que Paik (2015) define as categorias ontológicas a partir das definições de Arrhenius (matéria) e Bronsted-Lowry/Lewis (processo) e define o modelo de Lewis como extensão do modelo de Bronsted-Lowry, percebemos que cada uma dessas definições pertence a categorias ontológicas distintas, nos levando ao aprofundamento dos estudos de Arrhenius e Lewis, conforme ilustrado na Figura 1.

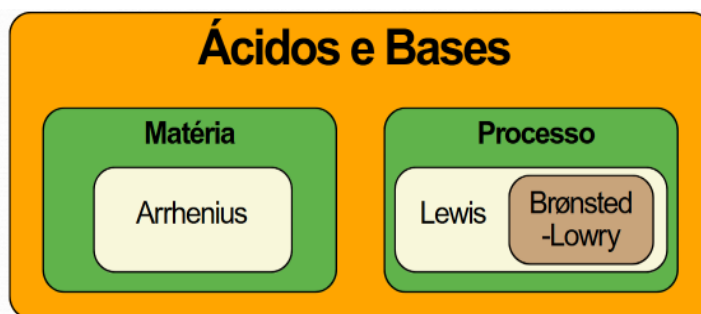


Figura 1: Relação entre os conceitos de Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis.

Fonte: adaptado de Paik (2015).

Dessa forma, esses estudos nos levam a entender que para esse trabalho, é importante o estudo da categoria ontológica. A partir de Heidegger (2013), a ontologia estuda o ser e a existência de nosso ser em cada ocasião. Maciel, Pereira, Marcelino, Cunha, Goulart, Motta e Romancine (2017) discutem que o caráter ontológico, segundo os autores, é a possibilidade de ser, que varia faticamente segundo a situação à qual é dirigido a questionar-se. Essa possibilidade de ser corresponde conforme o caráter ontológico à questionabilidade ôntica relacionada ao ser: cuidado e inquietude (HEIDEGGER, 2013). Diante desses estudos compreendemos a importância de entender as ideias e o estudo do ser, uma vez que o foco deste trabalho é de estudar sobre a construção das ideias que originaram os conceitos dos ácidos e bases, em que percebemos que as teorias de Arrhenius e Lewis foram construídas dentro de um contexto científico específico, refletindo não apenas os dados experimentais disponíveis em sua época, mas também as estruturas conceituais e ontológicas predominantes (Jensen, 1980). Nesse sentido, o referencial epistemológico de Gaston Bachelard, nos permite visualizar o passado com os conhecimentos do presente. Bachelard (1996, p.22) discute que para o historiador, uma ideia mal compreendida ainda é um fato; para o epistemólogo, é um obstáculo a ser superado. Demonstrando sua distinção:

O historiador da ciência deve tomar as idéias como se fossem fatos. O epistemólogo deve tomar os fatos como se fossem idéias, inserindo-as num sistema de pensamento. Um fato mal interpretado por uma época permanece, para o historiador, um fato. Para o epistemólogo, é um obstáculo, um contra-pensamento [...] Percebe-se assim a diferença entre o ofício de epistemólogo e o de historiador da ciência. (Bachelard, 1996, p. 22)

Neste trabalho, tendo em vista que há elementos da epistemologia que serão organizados por duas formas distintas de tratamento ontológico, os quais mereceram nosso destaque como elemento organizador da discussão, e vendo a possibilidade de nos basear nas ideias de Gaston Bachelard, utilizaremos como ferramenta de estudo principalmente os conceitos de Arrhenius para a categoria ontológica de matéria e a de Lewis para a categoria ontológica de reação, uma vez que são os conceitos mais conhecidos de suas categorias.

Pensando na construção do pensamento científico, percebemos conteúdos e conceitos químicos sendo tratados como se fossem inquestionáveis e verdadeiros (SANTOS, BARDINI e PASTORIZA, 2020). Portanto, nota-se a necessidade de evidenciar processos de experimentação, confrontos, desconstruções, construções e reconstruções de abstração. Com base nessas discussões, o objetivo desta pesquisa consiste em realizar um percurso epistemológico discutindo sobre a construção dos conceitos de ácidos e bases, com ênfase nas teorias de Arrhenius e Lewis por conta das suas diferenças ontológicas. Como objetivo, buscamos não apenas entender a construção das ideias dessas teorias, mas também compreender as diferenças ontológicas e epistemológicas que as distinguem. Sendo assim, o referencial de Gaston Bachelard permite discutir sobre as possíveis ideias que influenciaram como cada teoria foi construída, não apenas avançando em abrangência explicativa, mas também uma transformação na compreensão da natureza fundamental das interações ácido-base com diferença ontológica (PAIK, 2015).

Metodologia da Pesquisa

Esta investigação adotou uma abordagem qualitativa de natureza exploratória, alinhada com a perspectiva de Rosa (2013), que compreende a pesquisa qualitativa como um esforço de mapeamento e descrição detalhada de fenômenos específicos, sem pretensões de generalização estatística. O estudo concentrou-se na análise dos conceitos fundamentais das teorias ácido-base, se detendo aos conceitos de Arrhenius e Lewis por conta das suas diferenças ontológicas, buscando compreender não apenas

seu conteúdo teórico, mas também o contexto histórico e epistemológico em que foram formulados.

A metodologia empregada baseou-se principalmente na análise documental, seguindo a definição de Tozoni-Reis (2009), que caracteriza esta abordagem como centrada na investigação sistemática de documentos como fontes primárias de dados. O processo investigativo envolveu um trabalho de busca, seleção, tradução e análise de textos originais dos autores estudados e de suas principais referências. Para Arrhenius, foram examinadas suas publicações sobre dissociação eletrolítica, com especial atenção à sua obra de 1887. No caso de Lewis, a análise concentrou-se em seus trabalhos sobre a teoria eletrônica da valência e sua reformulação do conceito ácido-base em 1923. A busca dessas fontes primárias foi realizada através de uma pesquisa bibliográfica em bases de dados acadêmicas e arquivos digitais especializados, com o objetivo de recuperar os textos originais. Os autores Conforto, Amaral e Silva (2011) estabelecem que a revisão bibliográfica sistemática constitui um método científico rigoroso para busca e análise de artigos em determinadas áreas do conhecimento.

Esse processo incluiu não apenas as obras principais de Arrhenius e Lewis, mas também os trabalhos de pesquisadores que influenciaram diretamente seus pensamentos, como Faraday, Werner e outros pesquisadores relevantes para o desenvolvimento das teorias em estudo. Para isso, adotamos a estratégia de analisar as referências utilizadas pelos autores mais utilizados, que mostrou-se particularmente importante, permitindo reconstruir as redes de sentido que sustentaram a formulação das teorias analisadas.

Junto ao exame das fontes primárias, a pesquisa incorporou uma seleção de fontes secundárias, incluindo análises historiográficas e estudos epistemológicos sobre o desenvolvimento da química através de autores como Jensen (1980), Laidler (1993), Chagas (2000) e Paik (2015). Esses materiais complementares foram relevantes para a pesquisa com finalidade de contextualizar as obras originais dentro do panorama científico de suas respectivas épocas, destacando as ideias que motivaram as formulações teóricas de Arrhenius e Lewis.

Ácido-Base a partir das ideias de matéria

Uma das formas de compreender as ideias de ácidos e bases mais conhecidas tem suas ideias sistematizadas em um artigo proposto por Svante Arrhenius, em 1887.

Ele representou uma síntese de diversos avanços científicos, integrando conceitos da eletroquímica, termodinâmica e teoria atômica. Como observa Jensen (1980), essa teoria foi construída e influenciada por trabalhos predecessores reinterpretados por Arrhenius. Esta trajetória se mostra importante quando examinamos como os conceitos foram construídos ao longo processo de observação, experimentação e refinamento teórico que são utilizados até os dias de hoje (JENSEN, 1980; CHAGAS, 2000).

De acordo com Maar (1999), desde os primórdios da civilização, substâncias com características ácidas e alcalinas já chamavam a atenção pela sua natureza contrastante. Os antigos egípcios, em seus processos de fermentação, e os alquimistas árabes medievais, em suas buscas pela transformação da matéria, acumularam um conhecimento empírico valioso sobre essas substâncias, ainda que destituído de fundamentação teórica sistemática (HOLMYARD, 1957). O vinagre, com seu sabor característico, e as cinzas vegetais, com suas propriedades de limpeza, representavam os arquétipos práticos do que mais tarde seriam formalizados como ácidos e bases.

O entendimento dessas substâncias começou a tomar forma no século XVII com os trabalhos pioneiros de Robert Boyle (BOYLE, 1661). Ao introduzir o uso sistemático de indicadores naturais e estabelecer critérios objetivos para classificação química, Boyle efetivamente lançou as bases para o que viria a se tornar, no contexto ocidental, o método científico aplicado à química (KOUSATHANA *et al.*, 2005; SZABADVÁRY, 1964). Sua abordagem experimental marcou um afastamento definitivo das explicações místicas da alquimia, substituindo-as por observações cuidadosamente documentadas e reproduzíveis.

O final do século XVIII testemunhou outra mudança com Antoine Lavoisier (LAVOISIER, 1789), cuja teoria do oxigênio como princípio acidificante representou a primeira tentativa abrangente de explicar a acidez em termos de composição elementar (BELL, 1947). A abordagem de Lavoisier teve o mérito de introduzir rigor quantitativo e sistematização nomenclatural ao estudo das substâncias químicas, legados que permanecem fundamentais até os dias atuais.

A virada do século XIX trouxe consigo uma possibilidade de reinterpretação conceitual quando Humphry Davy (DAVY, 1808) estudou sobre a natureza dos ácidos, através de experimentos com eletrólise. Demonstrou que substâncias como o HCl não continham oxigênio, desafiando a teoria acidificante de Lavoisier (1789) e sugerindo o papel central do hidrogênio nas propriedades ácidas. Esses estudos foram fundamentais para que Justus von Liebig (LIEBIG, 1838) propusesse uma nova

definição centrada no hidrogênio como elemento fundamental das propriedades ácidas, como compostos contendo hidrogênio substituível (CHAGAS, 2000), estabelecendo as bases conceituais que Arrhenius mais tarde desenvolveria em sua teoria.

Segundo Szabadváry (1964), Faraday (1834) introduziu conceitos como "íon", "ânion" e "cátion", que se demonstraram essenciais para a teoria de dissociação de Arrhenius. A demonstração de que correntes elétricas podem decompor substâncias em solução forneceu evidências relevantes para a existência de espécies iônicas em meio aquoso.

Com os avanços que temporalmente próximos ocorriam em eletroquímica (FARADAY, 1834; BERZELIUS, 1814), termodinâmica (GIBBS, 1876) e estudo da condutividade (OSTWALD, 1884), acabaram criando o cerne para as discussões e a síntese de Arrhenius. Os trabalhos de Faraday sobre condutividade, as contribuições de Gibbs à termodinâmica química e as pesquisas de Ostwald sobre dissociação iônica forneceram coletivamente o arcabouço teórico e experimental necessário para a formulação da teoria iônica dos ácidos e bases.

O desenvolvimento da termodinâmica química por Gibbs (1876) e Helmholtz (1882), conforme discutido por Laidler (1993), forneceu o marco teórico para Arrhenius entender os aspectos energéticos da dissociação iônica. Os conceitos de energia livre e equilíbrio químico foram essenciais para explicar por que alguns ácidos e bases se dissociavam mais completamente que outros em solução aquosa.

A teoria atômica de Dalton (1803) e as leis das proporções definidas (Proust, 1794) e múltiplas (Dalton, 1803), conforme analisado por Laidler (1993), forneceram uma base conceitual para que Arrhenius assumisse as reações ácido-base como processos estequiométricos precisos. A noção de que substâncias se combinavam em proporções fixas permitiu a Arrhenius formular sua descrição quantitativa da neutralização como a combinação de H^+ e OH^- na proporção 1:1.

Foi neste contexto que Svante Arrhenius, em 1887, propôs sua teoria, definindo ácidos como substâncias que liberam íons hidrogênio (H^+) em solução aquosa e bases como aquelas que liberam íons hidroxila (OH^-). Esta abordagem não apenas unificava observações sobre comportamento de indicadores, condutividade elétrica e calores de neutralização (PAIK, 2015), mas também fornecia um mecanismo claro para as reações de neutralização através da formação de água a partir dos íons H^+ e OH^- .

Os estudos experimentais de Kohlrausch (1875) sobre condutividade elétrica, foram particularmente influentes. Kohlrausch demonstrou que diferentes soluções

apresentavam condutividades específicas, dados que Arrhenius utilizou para correlacionar o grau de dissociação com a concentração de íons em solução. De acordo com Arrhenius (1887, p.645, tradução própria):

Como é bem sabido, F. Kohlrausch prestou um grande serviço ao desenvolvimento da teoria da eletrólise, mostrando que a condutividade é uma propriedade aditiva. [...] Para soluções diluídas, Kohlrausch dá os seguintes valores [de condutividade iônica].

Arrhenius destaca que Kohlrausch demonstrou que a condutividade total de uma solução é a soma das contribuições individuais dos íons (Lei da Migração Independente dos íons), um pilar para sua teoria. Trazendo os valores dos estudos de Kohlrausch (1875) para soluções diluídas, onde esses valores são referentes a condutividade iônica (λ_0) sendo a unidade: $\text{cm}^2/\Omega \cdot \text{equiv.}$ em sua fórmula $\lambda_0 = \lambda_0^+ + \lambda_0^-$, onde λ_0^+ e λ_0^- são as condutividades iônicas limites do cátion e ânion, respectivamente. Os valores determinados por Kohlrausch para íons individuais em soluções diluídas estão representados na Figura 2:

$K = 48$, $NH_4 = 47$, $Na = 31$, $Li = 21$, $Ag = 40$, $H = 278$, $Cl = 49$,
 $Br = 53$, $J = 53$, $CN = 50$, $OH = 141$, $Fl = 30$, $NO_3 = 46$, $ClO_3 = 40$,
 $C_2H_3O_2 = 23$, $\frac{1}{2}Ba = 29$, $\frac{1}{2}Sr = 28$, $\frac{1}{2}Ca = 26$, $\frac{1}{2}Mg = 23$, $\frac{1}{2}Zn$
 $= 20$, $\frac{1}{2}Cu = 29$.

Figura 2: Estudos de Kohlrausch para soluções diluídas.

Fonte: Arrhenius (1887, p.645).

Esses valores são as medidas da contribuição individual de cada íon para a condutividade total da solução, quando infinitamente diluídos. Essas determinações experimentais foram feitas por Kohlrausch usando a Lei da Migração Independente dos íons (que ele próprio formulou). Porém Arrhenius faz uma crítica à aplicabilidade limitada dos dados de Kohlrausch a eletrólitos fortes, argumentando que sais pouco dissociados (como $MgSO_4$) fogem à lei da aditividade. Arrhenius (1887, p.646, tradução própria):

No entanto, esses valores [de Kohlrausch] se aplicam apenas aos corpos mais dissociados (sais de ácidos monobásicos e ácidos e bases fortes). Para os sulfatos e carbonatos um pouco menos dissociados [...] ele já obteve valores muito menores.

$K = 40$, $NH_4 = 37$, $Na = 22$, $Li = 11$, $Ag = 32$, $H = 166$,
 $\frac{1}{2}SO_4 = 40$, $\frac{1}{2}CO_3 = 36$

Figura 3: Valor de dissociação em sulfatos e carbonatos dos metais monovalentes.

Fonte: Arrhenius (1887, p.646).

Sendo assim, ele obteve os seguintes valores ainda menores (Figura 4):

$$\frac{1}{2} Mg = 14, \frac{1}{2} Zn = 12, \frac{1}{2} Cu = 12, \frac{1}{2} SO_4 = 22.$$

Figura 4: Valor de dissociação em sulfatos em metais da série do magnésio.

Fonte: Arrhenius (1887, p.646).

A partir disso, Arrhenius observou que os estudos de Kohlrausch podem ser implementados para os sais mais dissociados, uma vez que os sais menos dissociados fornecem valores diferentes. Esses dados são importantes para Arrhenius pois comprovam experimentalmente sua teoria, uma vez que a condutividade depende do grau de dissociação (α) e da mobilidade dos íons. Portanto, para Arrhenius fica claro que com o aumento da diluição, também aumenta o número de moléculas ativas. Dessa forma, com uma diluição exterior suficiente, se todos os sais se dividem em moléculas ativas (dissociadas), era de se esperar que, com diluições maiores, os sais se comportassem de maneira mais regular. Contudo, mesmo Arrhenius criticando os dados experimentais de Kohlrausch, ele acaba reconciliando suas críticas anteriores, reconhecendo que os dados de Kohlrausch, em diluições extremas, corroboram sua teoria da dissociação completa, sendo possível observar em Arrhenius (1887, p.646, tradução própria):

Também mostrei alguns exemplos que não se deve dar muita importância às anomalias dos sais [...] uma vez que essas anomalias desaparecem em diluições maiores. [...] A correção dessa visão é ainda mais clara nos trabalhos posteriores de Kohlrausch e Ostwald.

A partir disso, Arrhenius recorre aos trabalhos de Hittorf sobre números de transporte iônico para explicar o comportamento anômalo de sais como CdJ_2 (CdI_2 , iodeto de cádmio), que apresentavam menor dissociação aparente, como destacado por Arrhenius (1887, p.8, tradução própria):

Para explicar isso [o comportamento anômalo de certos sais], pode-se supor que as moléculas inativas desses sais realmente se ligam parcialmente umas

às outras. Como é bem sabido, Hittorf para CdJ_2 também foi levado a essa suposição pela grande mudança no número de migração dos íons.

Além disso, Arrhenius destaca a metodologia dos trabalhos de Ostwald na determinação do coeficiente de atividade (α), fundamental para seus cálculos de dissociação iônica. O rigor experimental, como destaca Arrhenius, de Ostwald forneceu dados mais precisos que outros pesquisadores citados, como é possível observar em Arrhenius (1887, p.636, tradução própria):

Os números calculados a partir dos números de Ostwald são de longe os mais seguros, porque as duas quantidades que entram em α podem ser facilmente determinadas com bastante precisão neste caso. [...] Os valores de α e i calculados a partir dos dados de Ostwald (para ácidos e bases) fornecem resultados mais confiáveis.

Discutindo então sobre os estudos, Arrhenius (1887, p.636, tradução própria):

O valor de α [coeficiente de atividade] é calculado pelos dígitos de Kohlrausch, Ostwald (para ácidos e bases) e alguns de Grotrian e Klein. [...] Os valores de α e i calculados a partir dos dados de Kohlrausch são um pouco menos certos, principalmente porque o valor máximo da condutividade molecular é difícil de calcular com precisão.

Arrhenius utiliza os dados experimentais de Kohlrausch sobre condutividade iônica para calcular o coeficiente de atividade (α) de eletrólitos, embora aponte limitações metodológicas, discutindo sua fórmula (Figura 5) onde o coeficiente de atividade de um eletrólito em diluição infinita é, portanto, considerado igual a um, para diluição mais baixa, é menor que um. Para Arrhenius (1887, p.633) a explicação dessa fórmula é de que este coeficiente de atividade (α) é conhecido, o valor do coeficiente “ i ” tabulado por van't Hoff, ou seja, a razão entre a pressão osmótica realmente exercida por um corpo e a pressão osmótica que ele exerceria se consistisse apenas em moléculas inativas (não dissociadas). Sendo assim, Arrhenius argumenta que aparentemente, “ i ” é igual à soma do número de moléculas ativas somado ao o número de íons, após essa soma ser dividida pelo total de moléculas inativas e ativas. Se, portanto, “ m ” representa o número de moléculas inativas e “ n ” a quantidade de moléculas ativas, e “ k ” representa o número de íons em que cada molécula ativa se divide, isso representa, por exemplo, para KCl, $k = 2$, ou seja, K e Cl, para BaCl_2 e K_2SO_4 , e é $k = 3$ (Ba, Cl e Cl, respectivamente, K, K e SO_4), então (1) da Figura 5.

$$i = \frac{m + k \cdot n}{m + n} \quad \left| \quad i = 1 + (k - 1) \alpha \right. \quad (2)$$

(1)

Figura 5: Fórmulas para cálculo de coeficiente de atividade e taxa de dissociação.

Fonte: Adaptado de Arrhenius (1887, p.646).

Para Arrhenius, como o coeficiente de atividade (α) pode ser escrito como $n \div m + n$, significa que também pode ser escrito como (2) da Figura 5. Para auxiliar nessa discussão, sobre como a teoria da dissociação eletrolítica de Arrhenius surgiu, em grande parte, como uma interpretação desses resultados experimentais, e também utilizando de explicações de outros autores, como Clausius, para a explicação dos fenômenos eletrolíticos, como descreve Arrhenius (1887, p.632, tradução própria).

Com Clausius, para a explicação dos fenômenos eletrolíticos, deve-se supor que uma parte das moléculas de um eletrólito é dissociada em seus íons, que têm um movimento independente.

Na citação abaixo, Arrhenius utiliza a análise de Ostwald para explicar uma anomalia nos dados, demonstrando como o trabalho experimental detalhado de Ostwald ajudou a resolver casos complexos de comportamento de soluções Arrhenius (1887, p.637, tradução própria):

Entre os valores de i que mostram uma diferença muito grande entre si, os de H_2SiF_6 devem ser excluídos desde o início. Ostwald mostrou que, com toda a probabilidade, esse ácido se decompõe parcialmente em solução aquosa em 6HF e SiO_2 , o que explica o grande valor de Raoult para i .

O autor faz uma avaliação da precisão dos trabalhos de Raoult, reconhecendo suas limitações, mas ainda assim utilizando-os como base para seus cálculos teóricos, discutindo que relacionando à precisão dos dígitos de Raoult, é difícil estimar: a julgar pelos próprios dígitos (para campos muito próximos), erros de 5% (ou mesmo um pouco mais) não devem ser improváveis.

Arrhenius reconhece Clausius na ideia de que eletrólitos se dissociam parcialmente em íons móveis, base para sua própria teoria. Essa menção aparece já

na introdução do artigo, destacando a ideia em que Arrhenius (1887, p.632, tradução própria) traz discutindo:

Uma molécula dissociada [...] exerce uma pressão tão grande contra as paredes do vaso quanto suas células exerceriam em um estado livre. Se, portanto, alguém pudesse calcular quanto das moléculas de um eletrólito está dissociado em seus íons, também seria capaz de calcular a pressão osmótica de acordo com a lei de van't Hoff.

Smith *et al.* (2000) define pressão osmótica como a diferença de pressão que faz com que dois sistemas se mantenham em equilíbrio termodinâmico, utilizado para cálculos de equilíbrio de fases. Arrhenius vincula a pressão osmótica anômala de soluções iônicas à dissociação proposta por Clausius, argumentando que íons livres aumentam o impacto cinético nas paredes do recipiente. Porém em Arrhenius (1887, p.637, tradução própria):

A dissociação em questão aqui não é inteiramente a mesma que ocorre, por exemplo, no decaimento de um sal de amônio a uma temperatura mais alta. [...] Nos eletrólitos, os produtos da dissociação (os íons) são carregados com eletricidade, o que impede sua separação completa sem gasto energético.

Aqui vemos que Arrhenius esclarece que a dissociação eletrolítica, mesmo sem citar Clausius, apresenta uma discussão que acaba a diferindo da dissociação térmica, pois envolve íons eletricamente vinculados, um refinamento para sua teoria. Os trabalhos de Van't Hoff (1886) sobre soluções diluídas demonstraram analogias entre o comportamento de solutos e gases ideais, sugerindo que as partículas em solução agiam de forma independente. Conforme cita Van't Hoff (1886, p.43, tradução própria):

A pressão que um gás exerce a uma determinada temperatura, quando um certo número de moléculas está distribuído em um determinado volume, é igual à pressão osmótica que a maioria dos corpos exerce nas mesmas condições quando estão dissolvidos em qualquer líquido.

Arrhenius associa as descobertas de Raoult sobre propriedades coligativas com sua própria teoria, argumentando que a aditividade observada por Raoult é consequência da dissociação iônica em Arrhenius (1887, p.647, tradução própria):

Em uma de suas obras, Raoult mostra que a redução do ponto de congelamento da água por sais pode ser considerada uma propriedade aditiva,

como é natural em nossa opinião para os sais mais dissociados em soluções diluídas.

Arrhenius analisa o sistema de classificação de íons desenvolvido por Raoult com base em seus experimentos crioscópicos, mostrando como esses dados corroboram parcialmente sua teoria, trazendo os seguintes valores para os efeitos dos íons no Quadro 1:

Primeiro grupo	Íons (radicais) (eletro)negativos univalentes	20 (Cl, Br, OH, NO ₃ , etc.)
Segundo grupo	Íons (radicais) bivalentes (electro)negativos	11 (SO ₄ , CrO ₄ etc.)
Terceiro grupo	Íon (radicais) univalentes (elétricos) positivos	15 (H, K, Na, NH ₄ , etc.)
Quarto grupo	cátions (radicais) bivalentes ou multivalentes	8 (Ba, Mg, Al ₂ , etc.)

Quadro 1: Valores para os efeitos do íons.

Fonte: Adaptado de Arrhenius (1887, p.646, tradução própria).

Essa visão complementou a ideia de Arrhenius sobre dissociação iônica, fornecendo uma base teórica adicional para seu modelo. Arrhenius destaca que a analogia de van't Hoff entre pressão gasosa e pressão osmótica em soluções foi essencial para justificar sua própria teoria da dissociação iônica. A menção à dissociação de gases (como o cloro em átomos) reforça a ideia de que partículas em soluções aquosas também poderiam se dissociar, como destacado por Arrhenius (1887, p.631, tradução própria):

Van't Hoff demonstrou a seguinte generalização extraordinariamente significativa da lei de Avogadro, tanto experimental quanto teoricamente. [...] Esta lei foi provada por van't Hoff de tal forma que dificilmente pode haver qualquer dúvida quanto à sua perfeita correção. [...] Quando um gás mostra tal desvio da lei de Avogadro, isso é explicado assumindo que o gás está em um estado de dissociação.

Arrhenius argumenta que as exceções à lei de van't Hoff (em soluções eletrolíticas) podem ser explicadas pela dissociação, assim como já se fazia para gases. Ele critica a resistência da comunidade científica em adotar essa ideia, como observado em Arrhenius (1887, p.631, tradução própria):

Quando um gás mostra tal desvio da lei de Avogadro, isso é explicado assumindo que o gás está em um estado de dissociação. [...] A mesma saída pode, é claro, ser aplicada à explicação das exceções à lei de van't Hoff; mas ainda não foi tomada, provavelmente por causa da novidade do assunto.

Arrhenius defende que a lei de van't Hoff é universal, incluindo eletrólitos, desde que se considere a dissociação iônica. Isso fundamenta sua teoria de que moléculas ativas (dissociadas) são responsáveis pelas propriedades anômalas das soluções. Segundo Arrhenius (1887, p.637, tradução própria):

As suposições [...] foram: Que a lei de van't Hoff é válida não apenas para a maioria, mas para todos os corpos, mesmo para aqueles que antes eram considerados exceções (eletrólitos em solução aquosa). Se fosse demonstrado [...] que a lei de van't Hoff é universalmente válida, o químico teria em suas mãos um meio extraordinariamente conveniente de determinar o peso molecular de qualquer corpo solúvel em um líquido.

Aqui, Arrhenius enfatiza o potencial prático da lei de van't Hoff para a química, vinculando-a diretamente à sua teoria da dissociação. Os trechos mostram que van't Hoff forneceu a base termodinâmica para Arrhenius, ao relacionar pressão osmótica com o comportamento de partículas independentes. Porém, Arrhenius foi além, argumentando que as "exceções" à lei de van't Hoff nos eletrólitos eram na verdade evidências de dissociação em Arrhenius (1887 p. 631) a mesma saída pode ser aplicada à explicação das exceções à lei de van't Hoff.

De acordo com Arrhenius, Clausius foi quem trouxe da ideia de dissociação iônica, pois a partir das ideias de Clausius deve-se supor que uma parte das moléculas de um eletrólito é dissociada em seus íons. Arrhenius ampliou esta concepção, transformando a "pequena dissociação" de Clausius em seu princípio central. Ele defende Clausius contra as objeções químicas (Arrhenius, 1887, p.637), mostrando como adaptou suas ideias para desenvolver uma teoria mais abrangente.

Os dados experimentais de Kohlrausch foram cruciais para Arrhenius (1887, p.645) dizendo que Kohlrausch prestou um grande serviço mostrando que a condutividade é uma propriedade aditiva. Arrhenius utilizou suas medidas experimentais de condutividade iônica para calcular graus de dissociação, embora tenha criticado suas limitações para sais pouco dissociados. A lei de migração independente de Kohlrausch validou o conceito de íons livres móveis.

Arrhenius (1887, p.636) considerou os dados de Ostwald como os mais confiáveis, dizendo que os números calculados a partir dos números de Ostwald são de longe os mais seguros, Ostwald forneceu evidências sobre a dissociação de ácidos e bases, além de ajudar a delinear os limites da teoria, Arrhenius (1887, p.647)

argumenta que o próprio Ostwald diz, a lei de Kohlrausch não se aplica automaticamente aos ácidos.

Além disso outros autores foram importantes para Arrhenius em seus estudos e na construção das ideias que originaram seu conceito de ácidos e bases, como os estudos de Hittorf sobre migração iônica, que de acordo com Arrhenius (1887, p.639) foi levado a essa suposição pela grande mudança no número de migração dos íons. Arrhenius usou esses dados para explicar comportamentos anômalos de sais como CdJ_2 , mostrando como a mobilidade iônica diferencial corroborava sua teoria. Além disso, Arrhenius (1887, p.639) discutiu as ideias de L. Meyer, trazendo que as conclusões de Meyer parecem se aplicar apenas aos corpos puros (p.9). Meyer representou um contraponto importante, cujas teorias sobre complexos moleculares Arrhenius refutou usando argumentos baseados em sua teoria iônica.

Para Arrhenius (1887, p.647) os dados de Grotrian sobre HgCl_2 foram usados como caso limite em que o autor argumenta que o cloreto de mercúrio conduz mais de 5 vezes pior que o KCl. Esses resultados ajudaram Arrhenius a delimitar o escopo de sua teoria, mostrando que alguns eletrólitos apresentam comportamento excepcional. Além disso, Arrhenius (1887, p.647) mencionou Bouty para destacar exceções importantes que demonstraram que fatores estereoquímicos poderiam afetar a dissociação, como o tartarato de potássio ainda conduz 5 vezes pior que o KCl em solução 0,001 normal, complementando a teoria geral.

Dessa forma, vemos como a discussão de como os conceitos de ácidos e bases a partir da perspectiva ontológica de matéria de Paik (2015) leva em consideração a teoria da dissociação eletrolítica de Arrhenius. A análise do artigo original de 1887 indica como Arrhenius soube aproveitar o trabalho de seus predecessores e contemporâneos, construindo para sua pesquisa. Sendo assim, é possível notar em seus trabalhos que van't Hoff e Clausius forneceram os conceitos-chave sobre comportamento de soluções e a própria ideia de dissociação iônica, ainda que de forma embrionária. Van't Hoff, com sua analogia entre gases e soluções, deu a Arrhenius a conexão termodinâmica necessária, enquanto Clausius introduziu o conceito de dissociação parcial que Arrhenius expandiu. Os dados experimentais de Kohlrausch, Ostwald, Raoult, Hittorf, Grotrian e Bouty acabaram fornecendo os dados quantitativos indispensáveis. Kohlrausch com suas medidas precisas de condutividade, Ostwald com estudos sistemáticos de ácidos e bases, Raoult com propriedades coligativas, e Hittorf com migração iônica provendo evidências empíricas que Arrhenius soube reinterpretar

em sua teoria. Os trabalhos de Grotrian e Bouty, mostrando exceções importantes, foram igualmente valiosos para testar e refinar a teoria. E por fim houve alguns trabalhos que Arrhenius se baseou para ampliar as discussões, como Meyer, Rüdorff, de Vries e Gladstone, onde esses autores forneceram tanto críticas úteis (como a teoria dos complexos moleculares de Meyer) quanto aplicações complementares (estudos de pressão osmótica de de Vries) que ajudaram a consolidar o escopo da teoria.

Dessa forma, Arrhenius percebeu que os "problemas" e "anomalias" nos trabalhos desses autores como as exceções à lei de van't Hoff ou os comportamentos anômalos observados por Grotrian e Bouty não eram falhas experimentais, mas sim manifestações de um princípio mais profundo: a dissociação eletrolítica. Contudo, como é comum ocorrer em teorias científicas de grande alcance, a proposta de Arrhenius logo revelou suas limitações (WERNER, 1893). A restrição a sistemas aquosos, a dificuldade em explicar reações em solventes não aquosos e os problemas conceituais relacionados à natureza do íon hidrogênio em solução tornaram-se evidentes à medida que a química expandia seus horizontes experimentais (BRONSTED, 1923). Curiosamente, foram precisamente essas limitações que estimularam o desenvolvimento de teorias mais abrangentes, como as propostas por Bronsted-Lowry e Lewis nas décadas seguintes (LAIDLER, 1993).

A teoria de Arrhenius representa um caso de como o conhecimento científico é construído através da acumulação crítica de evidências e da constante reformulação de conceitos (JENSEN, 1980). Mesmo após o surgimento de teorias mais abrangentes, a abordagem de Arrhenius manteve sua relevância, especialmente no ensino da química e na compreensão de sistemas aquosos, testemunhando assim a durabilidade da teoria científica.

Ao longo das discussões, é possível observar que artigo original de Arrhenius (1887) se constrói sobre uma ontologia claramente materialista em sua definição de ácidos e bases, onde Arrhenius (1887, p.634) define ácidos e bases através de entidades materiais específicas, argumentando que os ácidos são substâncias que, em solução aquosa, liberam íons hidrogênio (H^+), enquanto as bases liberam íons hidroxila (OH^-). Isso é possível observar na tabela experimental (p. 634), que será adaptada na Figura 6, utilizada como exemplo.

3. ácidos

Substanz	Formel	α	$i = t, 18.5$	$i = 1 + (k - 1) \alpha$
Chlorwasserstoff	HCl	0.90	1.98	1.90
Bromwasserstoff	HBr	0.94	2.03	1.94
Jodwasserstoff	HJ	0.96	2.03	1.96
Kieselfluorwasserstoff	H_2SiF_6	0.75	2.46	1.75
Salpetersäure	HNO_3	0.92	1.94	1.92
Chlorsäure	$HClO_3$	0.91	1.97	1.91
Überchlorsäure	$HClO_4$	0.94	2.09	1.94
Schwefelsäure	H_2SO_4	0.60	2.06	2.19
Selensäure	H_2SeO_4	0.66	2.10	2.31
Phosphorsäure	H_3PO_4	0.08	2.32	1.24
Schweflige Säure	H_2SO_3	0.14	1.03	1.28

2. bases

Baryt	$Ba(OH)_2$	0.84	2.69	2.67
Strontian	$Sr(OH)_2$	0.86	2.61	2.72
Kalk	$Ca(OH)_2$	0.80	2.59	2.59
Lithion	$LiOH$	0.83	2.02	1.83
Natron	$NaOH$	0.88	1.96	1.88
Kali	KOH	0.93	1.91	1.93
Thallion	$TlOH$	0.90	1.79	1.90

Figura 6: Valores para os efeitos do íons.

Fonte: Adaptado de Arrhenius (1887, p.634-635, tradução própria).

Na figura vemos um recorte do quadro original feito por Arrhenius, em que ácidos como HCl , HNO_3 e H_2SO_4 são classificados por sua capacidade de produzir H^+ mensuráveis, e bases como $NaOH$ e KOH por liberar OH^- . A ênfase está na presença material desses íons, não em seu comportamento dinâmico. Além disso, Arrhenius (1887, p.633, tradução própria) atribui propriedades ácido-base à constituição material das moléculas, argumentando que a dissociação eletrolítica produz íons que são entidades químicas independentes, cuja existência pode ser determinada por condutividade e pressão osmótica, argumentando que uma molécula dissociada exerce pressão osmótica como se seus íons estivessem livres. Isso mostra que, para Arrhenius, a acidez/basicidade é uma propriedade intrínseca da matéria (H^+ ou OH^- pré-existent na substância), que se manifesta quando a dissociação ocorre

Ácido-Base a partir da ideia de processo

A teoria ácido-base de Lewis, proposta em 1923 por Gilbert Newton Lewis, representou uma ruptura epistemológica na Química, cujos fundamentos encontram-se enraizados nos desenvolvimentos científicos das décadas anteriores. Para buscar compreender suas ideias, é importante examinar as múltiplas linhas de pensamento

que convergiram para sua formulação, desde as limitações das teorias anteriores até os avanços na compreensão da ligação química (Jensen, 1980; Chagas, 2000). A construção teórica de Lewis não surgiu isoladamente, mas a partir de uma convergência singular entre a teoria eletrônica da valência, os avanços em estrutura molecular e as limitações conceituais das teorias ácido-base então vigentes. Essas ideias também trazem argumentos que se alinham no sentido de evidenciar modificações radicais no modo de pensar a organização do conhecimento produzido.

As ideias conceituais da teoria de Lewis podem ter origens e observadas até as críticas fundamentais que Alfred Werner (1893) dirigiu à teoria de Arrhenius. Em seus primeiros estudos sobre complexos de coordenação na década de 1890, Werner demonstrou que a interação entre espécies como a amônia (NH_3) e íons metálicos não podia ser adequadamente explicada pelo simples modelo iônico de Arrhenius (Kauffman, 1974). Lewis reconhece a influência de Werner, mas diverge sobre o papel das forças eletrostáticas (Lewis 1923a, p.137, tradução própria):

Em nosso desenvolvimento da nova teoria da valência, encontramos possibilidade de concordar com Werner em muitos pontos. Como texto do presente capítulo, poderíamos usar sua afirmação: “O fenômeno eletroquímico que acompanha a saturação das valências principais é secundário e bastante diferente do puramente químico. Pode acompanhar a mudança química, mas não é uma consequência necessária.

Lewis admite a contribuição de Werner ao distinguir fenômenos eletroquímicos de ligações químicas, mas mais adiante no capítulo rejeita a ideia de que forças puramente eletrostáticas explicam a afinidade química.

Werner demonstrou que certos metais podiam atuar como centros ácidos ao coordenar ligantes, um fenômeno que as teorias de Arrhenius e Bronsted-Lowry não conseguiam explicar adequadamente. Essas observações empíricas convenceram Lewis da necessidade de uma definição mais abrangente de acidez, uma vez que Lewis faz referência crítica à teoria de Arrhenius ao discutir a natureza dos eletrólitos. Conforme cita Lewis (1916, p. 764) (tradução própria):

Assim, em uma molécula extremamente polar, como a do cloreto de sódio, é provável que pelo menos na grande maioria das moléculas o átomo de cloro tenha adquirido uma carga negativa unitária e, portanto, o átomo de sódio uma carga positiva unitária, e que o processo de ionização consiste apenas em uma separação adicional dessas partes carregadas.

Assim, Lewis está expandindo a teoria de dissociação iônica de Arrhenius (1887), propondo que a ionização ocorre mesmo em compostos não dissolvidos, trazendo elementos iniciais do conceito de pares iônicos. Esta visão mais ampla de ionização fundamenta sua posterior teoria ácido-base, além de contrastar sua visão com a abordagem de Arrhenius, ele critica (Lewis, 1916, p.771, tradução própria) diretamente a visão de Helmholtz sobre transferência eletrônica:

Desde a primeira sugestão de Helmholtz, inúmeros esforços têm sido feitos para explicar a combinação química pela suposição que, na formação de um composto, alguns dos elétrons de um átomo passam completamente para outro átomo [...] Tal teoria, na minha opinião, provou-se totalmente inadequada, exceto no caso de substâncias do tipo fortemente polar.

Aqui Lewis rejeita a visão clássica de Helmholtz sobre transferência eletrônica completa, propondo em seu lugar o compartilhamento de pares eletrônicos, fundamento para sua teoria ácido-base. Esta crítica direta mostra a ruptura de Lewis com a tradição eletroquímica do século XIX e está explicitamente diferenciando sua teoria de compartilhamento eletrônico da visão de Arrhenius de transferência completa de elétrons, mostrando como sua abordagem explica tanto compostos polares quanto não-polares. Lewis destaca a contribuição de Adams (1916) para entender a dissociação em aminoácidos (Lewis, 1923a, p.139, tradução própria):

Um aparente anômalo foi encontrado no caso dos aminoácidos. O grupo NH_2 é considerado um radical altamente negativo, mas os aminoácidos apresentam condutividade elétrica muito baixa. Esse fenômeno é explicado de maneira inteiramente satisfatória por E. Q. Adams (1916) como devido à formação de sais internos.

Lewis utiliza o trabalho de Adams para explicar a baixa condutividade dos aminoácidos através do conceito de sais internos, onde o próton do grupo carboxílico é transferido para o grupo amino, neutralizando a carga. Essa ideia reforça a visão de Lewis sobre a importância da estrutura eletrônica (e não apenas da ionização clássica) na definição de ácidos e bases.

Lewis reconhece o trabalho pioneiro de Ostwald na aplicação de princípios termodinâmicos aos sistemas eletrolíticos (1916, p. 762) (tradução própria)

Ao combinar esses resultados com aqueles derivados das medições de força eletromotriz de Jahn em células $\text{Ag} + \text{AgCl}$, $\text{HCl}(\text{ci})$, $\text{HCl}(\text{c3})$, $\text{AgCl} + \text{Ag}$, a série de valores de energia livre foi estendida [...] com a ajuda de dados calorimétricos e uma determinação da força eletromotriz [...] por Lewis e Rupert.

Embora não cite Ostwald diretamente neste trecho, Lewis está claramente trabalhando dentro do paradigma estabelecido por Ostwald sobre a relação entre forças eletromotrizes e energias livres em eletrólitos fundamentos em que Arrhenius se deteve para construir suas ideias para entender o comportamento ácido-base em solução. Sendo assim, Lewis faz uma crítica sutil às limitações da teoria de Ostwald e que Arrhenius se apropriou quando discute polaridade molecular (Lewis, 1916, p. 764, tradução própria):

Se então considerarmos a molécula não polar como uma em que os elétrons pertencentes ao átomo individual são mantidos por tais restrições que não se movem muito de suas posições normais, enquanto na molécula polar os elétrons, sendo mais móveis, se movem de maneira a separar a molécula em partes positivas e negativas.

É possível perceber que Lewis está expandindo o conceito de ionização além da visão de Ostwald tradicional, propondo um *continuum* de polaridade molecular que vai desde a ionização completa até a não-polaridade. Dessa forma, Lewis faz uma distinção importante entre abordagens termodinâmicas e eletromagnéticas: (Lewis, 1916, p. 773, tradução própria) ele argumenta:

De fato, no caso presente, completamente à parte de qualquer razão química, um estudo da teoria matemática do elétron leva, creio, irresistivelmente à conclusão de que a lei de Coulomb das inversas quadrados deve falhar em pequenas distâncias.

Neste trecho mostra Lewis diferenciando sua abordagem daquela de Nernst. Enquanto este mantinha uma visão mais clássica, Lewis avança para uma teoria quântica emergente da estrutura atômica, relevante para sua concepção de pares eletrônicos compartilhados. Lewis contrasta sua teoria com a abordagem de Helmholtz. Na p.772 , continua:

De acordo com a teoria que estou apresentando agora, não é necessário considerar os dois tipos extremos de combinação química [...] como diferentes em tipo, mas apenas diferentes em grau. Isso se deve à suposição da interpenetrabilidade das camadas atômicas.

Enquanto Helmholtz via ligações como puramente iônicas (com transferência completa), Lewis introduz um *continuum* de polaridade que unifica ligações iônicas e covalentes para entender ácidos (aceptores) e bases (doadores) em diversos ambientes químicos. Embora não cite Bronsted diretamente, Lewis discorre sobre conceitos que seriam formalizados por Bronsted. Para Lewis (1916, p. 782, tradução própria), a quantidade de separação de um dos átomos de hidrogênio, e, portanto, o

grau de ionização, mudará quando o outro átomo de hidrogênio for substituído por um grupo positivo ou negativo. Sendo assim, Lewis está descrevendo o que Bronsted chamaria de "efeito de substituição" na força ácida, trazendo a ideia de pares conjugados ácido-base. Esta passagem mostra como Lewis estava desenvolvendo conceitos que ambos os cientistas desenvolvessem, embora por caminhos teóricos distintos. Pois, paralelamente, a emergente teoria eletrônica da valência, desenvolvida por Richard Abegg, em 1904, estabeleceu as bases para compreender as interações químicas em termos de doação e aceitação de elétrons. Abegg propôs sua "regra do octeto" e sugeriu que a valência poderia ser entendida através de elétrons "positivos" e "negativos", um dos precursores conceituais para a teoria de Lewis (ABEGG, 1904). Assim, Lewis discute sistemas em equilíbrio de forma que abrange o Teorema do Calor de Nernst. Lewis (1916) observa que quando uma partícula é mantida em posição por restrições específicas, ela é capaz de vibrar com uma frequência definida, e essa frequência é determinada exclusivamente pela magnitude das restrições e pela massa da partícula. Podemos perceber aqui que Lewis está desenvolvendo uma visão quântica inicial dos estados eletrônicos que complementa as formulações posteriores da Termodinâmica Estatística baseadas no trabalho de Nernst.

Lewis credits a Abegg a fundamentação teórica que inspirou sua teoria do átomo cúbico. Conforme cita Lewis (1916, p. 766, tradução própria):

Há alguns anos, para explicar o fato marcante que ficou conhecido como a Lei de Valência e Contravalência de Abegg, a qual afirma que a diferença total entre as valências negativas e positivas máximas ou números polares de um elemento é frequentemente oito e em nenhum caso ultrapassa esse número, eu elaborei o que pode ser chamado de teoria do átomo cúbico.

Nesse sentido, Lewis reconhece que a regra de Abegg (1904) sobre a soma das valências máxima (+n) e mínima (-n) ser igual a 8 foi importante para sua ideia de que átomos tendem a completar octetos eletrônicos base para definir ácidos (aceptores) e bases (doadores). Essas ideias também foram utilizadas por Irving Langmuir, que em 1919 (sem entrar em mérito de originalidade) aplicou uma proposta de teoria do octeto para explicar a ligação covalente, demonstrando a crescente aceitação de que os pares eletrônicos eram fundamentais para a compreensão das interações químicas.

Lewis referencia implicitamente a equação de Nernst ao discutir sistemas eletroquímicos. Conforme cita Lewis (1916, p. 762, tradução própria), ao combinar esses resultados com aqueles derivados das medições de força eletromotriz a série de

valores de energia livre foi estendida de 0,033 para 0,00167 molal. Nesse momento Lewis está aplicando a relação entre potencial eletroquímico e energia livre ($\Delta G = -nFE$). Esta relação nos faz entender como Lewis quantificou a força relativa de ácidos e bases através de potenciais de eletrodo.

O próprio Lewis vinha desenvolvendo suas ideias sobre a ligação química desde 1902, quando começou a esboçar sua teoria do par eletrônico em cadernos não publicados (LEWIS, 1923a). Lewis critica a falta de reconhecimento de suas ideias anteriores por Thomson, mas reconhece a convergência de suas conclusões. Conforme cita Lewis (1916, p. 763) (tradução própria):

Este artigo [sobre polaridade] estava aparentemente desconhecido pelo Sir J. J. Thomson quando ele escreveu, em 1914, um artigo extremamente interessante sobre as 'Forças entre Átomos e Afinidade Química', no qual ele chegou a conclusões que estão em forte conformidade com as minhas, e discutiu em considerável detalhe as teorias da estrutura atômica e molecular que o levaram a essas conclusões.

Lewis destaca que Thomson, independentemente, desenvolveu teorias similares sobre polaridade molecular, reforçando a distinção entre compostos polares (como sais) e não polares (como hidrocarbonetos). Lewis retoma as ideias de Thomson sobre como moléculas polares influenciam outras. Ele afirma que este importante efeito das moléculas polares em tornar outras mais polares, ao qual chamei atenção em meu artigo anterior, foi discutido em algum detalhe por Thomson (Lewis, 1916, p. 765, tradução própria).

Assim, Lewis reconhece o trabalho de Thomson sobre como dipolos moleculares aumentam a polaridade de substâncias vizinhas, um conceito-chave para entender a ação de ácidos (aceptores de elétrons) e bases (doadores) em ambientes polares. Lewis ilustra como a regra se aplica a sais, conectando-a à polaridade (LEWIS, 1916). Ele escreve que no íon fluoreto, o núcleo tem uma carga de +7, e a carga negativa do grupo de oito elétrons somente a supera por uma unidade. De fato, em compostos de flúor com todos os outros elementos, o flúor é atribuído ao número polar -1.

Lewis usa exemplos como o fluoreto (F^-) para mostrar que a atração por elétrons (característica de ácidos de Lewis) segue a previsão de Abegg sobre valência negativa máxima. Assim também aparece uma reinterpretação do conceito de Arrhenius de ácidos em Lewis (1916, p. 782, tradução própria), argumentando que “em uma substância como a água, os elétrons são atraídos do hidrogênio para o oxigênio e

temos, no caso limite, um certo número de átomos de hidrogênio que estão completamente separados como íons de hidrogênio.”

Lewis mantém o núcleo da definição de Arrhenius (íons H^+ como espécies acidificantes), mas amplia o conceito para incluir qualquer aceptor de pares eletrônicos, não apenas produtores de H^+ em solução aquosa. Lewis reconhece a contribuição histórica de Helmholtz. Lewis (1916, p. 772, tradução própria), observa que como temos a lei da atração universal entre partículas a grandes distâncias, também a pequenas distâncias temos a igualmente universal lei da repulsão. Esta referência implícita ao trabalho de Helmholtz e mostra como Lewis reinterpreto princípios físicos clássicos para desenvolver sua teoria eletrônica da ligação química.

A síntese dessas influências levou Lewis a propor, em 1916, que a ligação química envolvia o compartilhamento de pares de elétrons entre átomos, um conceito que formaria a base para sua posterior teoria ácido-base (LEWIS, 1916). O trabalho de Lewis deve ser compreendido também aos desenvolvimentos da teoria atômica no início do século XX. Como destacam Laidler (1993) e Pauling (1960), a proposta do elétron por J.J. Thomson (1897) e os modelos atômicos subsequentes criaram as condições para uma reavaliação radical dos conceitos de ligação química. Lewis (1916) já havia proposto a teoria do par eletrônico como fundamento da ligação covalente, conceito que se demonstra central para sua posterior definição ácido-base. Embora Lewis admire partes do trabalho de Thomson, ele rejeita modelos puramente eletromagnéticos. Em Lewis (1916, p. 772-773, tradução própria) ele escreve:

O fato é que, mesmo nas teorias mais proeminentes, até mesmo essa vantagem questionável desaparece, pois as leis comuns da eletricidade não são preservadas. [...] Parece pouco provável que muito progresso possa ser feito [...] ao atribuir em avanço leis definitivas de força entre os constituintes positivos e negativos de um átomo.

Lewis argumenta que as teorias de Thomson e Bohr falham ao explicar a química prática, defendendo sua própria abordagem baseada em pares eletrônicos compartilhados (fundamental para sua definição de ácidos e bases). Sendo assim, Lewis destaca a importância do trabalho de Parson ao conectar propriedades magnéticas do elétron com a estrutura atômica. Conforme cita Lewis (1916, p. 773, tradução própria):

Nesse sentido, gostaria de chamar atenção para um artigo extremamente interessante do Sr. A.L. Parson, que acabou de ser publicado, mas que tive a oportunidade de revisar com o autor há mais de um ano. A suposição

fundamental da teoria de Parson é que o elétron não é meramente uma carga elétrica, mas também um pequeno ímã, ou, em sua terminologia, um magneton.

Lewis incorpora a ideia de Parson de que os elétrons possuem propriedades magnéticas intrínsecas, o que reforça sua própria teoria da estrutura cúbica dos átomos e a estabilidade dos pares eletrônicos. Dessa forma, Lewis reconhece que Parson chegou independentemente a conclusões similares às suas sobre a disposição dos elétrons, como possível observar com a afirmação Lewis (1916, p. 773-774, tradução própria):

Assumindo, portanto, a existência de forças magnéticas assim como elétricas entre as diferentes partes do átomo, Parson foi levado de forma totalmente independente à conclusão que declarei acima, a saber, que a condição mais estável para a camada atômica é aquela em que todos os elétrons são mantidos nos cantos de um cubo.

Sendo assim Lewis (1916, p.768, tradução própria) retoma Abegg para explicar a estabilidade de íons, discutindo:

O átomo tende a manter um número par de elétrons na casca, e especialmente a manter oito elétrons que estão normalmente dispostos simetricamente nos oito vértices de um cubo. [...] No caso do oxigênio, onde o grupo de oito elétrons tem uma carga que excede a do núcleo em duas unidades, o número polar é considerado como -2 na maioria dos compostos.

Aqui, Lewis expande a regra de Abegg ao propor que a estabilidade química depende da formação de octetos (ou duetos, como no hélio), diretamente ligada à capacidade de bases doarem pares eletrônicos para completar esses octetos. Essa convergência teórica valida a ideia de Lewis de que os elétrons se organizam simetricamente (em cubos ou pares), para entender como ácidos e bases compartilham pares eletrônicos. Pois embora admire o trabalho de Parson, Lewis ajusta algumas ideias, especialmente sobre o hélio, como possível observar na citação abaixo em que Lewis (1916, p. 768, tradução própria) escreve:

Há uma parte da teoria de Parson que concorda com minha própria teoria anterior, mas que agora acredito estar incorreta. A ideia de que o argônio é um sistema de cubos concêntricos [...] e que o néon é um sistema semelhante com um cubo a menos, levou naturalmente à suposição de que o hélio é constituído de maneira similar. Mas evidências recentes [...] tornam quase certo que o hélio tem um total não de oito, mas de dois ou quatro elétrons.

Nesse sentido, é possível observar que Lewis corrige Parson com base em dados experimentais (como os estudos de Moseley), mas mantém o cerne da teoria,

que é a importância dos pares eletrônicos, que fundamenta sua definição de bases (doadoras de pares) e ácidos (aceptores). A discussão que Lewis (1923a, p. 147, tradução própria) sobre a quantização magnética de Sommerfeld é relevante, pois:

Em seu notável tratado sobre estrutura atômica (1922), Sommerfeld discute a determinação de momentos magnéticos atômicos a partir de dados espectroscópicos. [...] é seguro afirmar que o momento magnético de qualquer outro átomo pode ser expresso como um inteiro ou zero.

A emergência da mecânica quântica, particularmente através dos trabalhos de Bohr (1913), conforme analisado por Pullman (1998), forneceu o arcabouço teórico que permitiu a Lewis utilizar suas ideias para repensar suas limitações das teorias puramente eletrostáticas. Lewis adota aqui o conceito de Sommerfeld de momentos magnéticos quantizados (em unidades do magneton de Bohr) como base para sua própria teoria magnetoquímica. Essa ideia é central para o texto de Lewis em 1923a, onde Lewis substitui forças eletrostáticas por interações magnéticas como fonte da afinidade química. Nesse contexto, como aponta Gillespie (1970), Lewis percebeu que o comportamento ácido-base poderia ser reformulado em termos de interações eletrônicas, independentemente da presença de prótons ou de meio aquoso. Lewis expressa reservas sobre a aplicação direta da teoria de Planck à estrutura atômica. Conforme cita Lewis (1916, p. 773, tradução própria):

Planck, em seu oscilador elementar que mantém seu movimento no zero absoluto, e Bohr, em seu elétron se movendo em uma órbita fixa, inventaram sistemas contendo elétrons cujo movimento não produz efeito sobre cargas externas. Agora, isso não é apenas inconsistente com as leis aceitas do eletromagnetismo, mas, posso acrescentar, é logicamente questionável.

Assim, Lewis questiona a interpretação física dos quanta de Planck quando aplicada ao modelo atômico de Bohr, argumentando que sua própria teoria do átomo cúbico oferece uma explicação mais satisfatória para as propriedades químicas, base para sua definição eletrônica de ácidos e bases. O desenvolvimento da teoria de orbitais moleculares por Mulliken (1932) e Hund (1927), conforme discutido por Coulson (1961), forneceu a linguagem conceitual para que Lewis articulasse sua visão da interação ácido-base como um processo de compartilhamento eletrônico. Lewis adapta conceitos de Planck para explicar cor em compostos. Lewis (1916, p. 783, tradução própria) argumenta:

Quando uma partícula é mantida em posição por restrições definitivas, ela é capaz de vibrar com uma frequência definida [...] Quando tal partícula está

carregada eletricamente e sujeita às forças eletromagnéticas alternadas que constituem um feixe de luz [...] a energia da luz é absorvida.

No contexto em que Lewis reinterpreta a quantização de Planck para explicar propriedades espectrais de ácidos/bases, trazendo a ideia da teoria de orbitais moleculares. Esta conexão entre restrições eletrônicas e absorção de luz fundamentaria depois a espectroscopia ácido-base, mas não só para Plank, mas para Bohr também, Lewis (1923b, p.452, tradução própria) diz que os fatos da espectroscopia, especialmente conforme interpretados pela teoria de Bohr, indicavam elétrons em rápido movimento no átomo. Assim, Lewis critica a abordagem dinâmica, propondo órbitas estáticas para pares eletrônicos, para entender ligações dativas em complexos ácido-base como $\text{NH}_3 \rightarrow \text{BF}_3$. A teoria de Lewis também foi influenciada pelos trabalhos sobre estrutura eletrônica utilizado por Langmuir (1919), que expandiu e popularizou os conceitos que Lewis também desenvolveu sobre a ligação química, pois Lewis alinha-se com Langmuir ao discutir interações moleculares. Lewis (1916, p. 765, tradução própria) observa que quando duas moléculas se combinam ou mesmo se aproximam, cada uma enfraquece as restrições que mantêm a carga da outra unida, e o momento elétrico de cada uma é aumentado. Este princípio está relacionado com o trabalho posterior de Langmuir sobre adsorção química, mostrando como a teoria de Lewis fundamentou explicações para catálise ácido-base em superfícies. Como destaca Servos (1990), essa colaboração intelectual foi importante para consolidar a visão de que a acidez e basicidade eram, em última análise, manifestações de propriedades eletrônicas fundamentais.

A publicação formal da teoria ácido-base de Lewis em 1923 surgiu também como resposta direta às limitações cada vez mais evidentes da teoria protônica de Bronsted-Lowry, proposta no mesmo ano. Enquanto Bronsted e Lowry haviam expandido o conceito de Arrhenius para incluir qualquer transferência de prótons, Lewis percebeu que muitas interações químicas importantes como as entre óxidos ácidos e básicos ou entre haletos metálicos e aminas não envolviam prótons, mas sim a doação e aceitação de pares eletrônicos (JENSEN, 1980). Um exemplo paradigmático foi o comportamento do trifluoreto de boro (BF_3). Embora inerte segundo as teorias de Arrhenius e Bronsted-Lowry (por não liberar H^+), o BF_3 ao formar complexos estáveis com aminas demonstra ter caráter ácido, uma vez que para isso, um ácido de Lewis não está ligado à liberação de prótons (H^+), como em Arrhenius e Bronsted-Lowry, mas sim à capacidade de uma espécie química de aceitar um par de elétrons de outra

molécula. Lewis reconheceu que isso ocorria porque o boro, com seu orbital p vazio, podia aceitar um par eletrônico da amônia (NH_3), formando uma ligação dativa ($\text{H}_3\text{N} \rightarrow \text{BF}_3$) um fenômeno que sua teoria explicava (LEWIS, 1923a). Lewis contrasta sua visão com a abordagem quântica tradicional e, (1916, p. 773, tradução própria) em nota de rodapé, observa:

Parece-me muito mais simples assumir que um elétron pode ser mantido no átomo em equilíbrio estável em uma série de diferentes posições, cada uma das quais tendo restrições definidas, correspondendo a uma frequência definida do elétron.

Enquanto Planck e Bohr enfatizavam transições entre órbitas quantizadas, Lewis propõe um modelo estático de posições eletrônicas fixas para entender como ácidos (como BF_3) podem aceitar pares eletrônicos em orbitais vazios específicos. A resistência inicial à teoria de Lewis refletia tanto o conservadorismo científico quanto dificuldades conceituais genuínas. Muitos químicos, acostumados com modelos baseados em prótons, consideravam a abordagem de Lewis abstrata (SCERRI, 2007). Além disso, a natureza da ligação dativa permaneceu controversa até o advento da mecânica quântica, quando Linus Pauling demonstrou, através do conceito de hibridização, como orbitais vazios poderiam aceitar pares eletrônicos (PAULING, 1931).

A abordagem de Lewis, conforme analisado por Pimentel (1960), residiu em sua capacidade de integrar esses diversos desenvolvimentos, da teoria eletrônica da valência à química de coordenação em um marco conceitual unificado.

A consolidação da teoria ocorreu gradualmente, impulsionada por sua aplicabilidade em campos que estavam surgindo. Na década de 1930, os trabalhos de Christopher Ingold sobre mecanismos de reações orgânicas revelaram como ácidos e bases de Lewis poderiam catalisar transformações químicas (INGOLD, 1934). Simultaneamente, o desenvolvimento da química de coordenação por Sir Geoffrey Wilkinson e outros demonstrou a universalidade do conceito em complexos metálicos (Wilkinson, 1952). Em que Lewis (1916, p. 766, tradução própria), observa que o ácido clorídrico, que no estado puro não é extremamente polar, alcança quase o estado de polaridade mais alto quando dissolvido em água.

Assim, é possível perceber que Lewis está descrevendo o processo que Bronsted caracterizaria como transferência protônica ($\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$), embora Lewis o interprete em termos de polaridade eletrônica geral, não especificamente de transferência de prótons. De acordo com Lewis (1923, p.456,

tradução própria) Lowry via estruturas polares assimétricas como melhores representações para ligações duplas. Sendo assim, Lewis repensa essa visão com polarização variável, relevante para entender a reatividade de ácidos/bases em ligações π (ex.: C=O como sítio ácido).

Nessa perspectiva, como conclui Jensen (2006), a teoria de Lewis foi além de seu contexto histórico imediato para se tornar um dos conceitos fundamentais da química moderna. Sua ênfase nas interações eletrônicas antecipou desenvolvimentos fundamentais em áreas tão diversas como a catálise heterogênea, a química organometálica e a bioquímica, demonstrando a potencialidade da teoria. O texto de Lewis (1923a) apresenta uma concepção claramente processual de ácidos e bases, evidenciada em diversos trechos que destacam a natureza dinâmica e relacional de suas definições. Essa abordagem contrasta com a visão materialista de Arrhenius e se alinha com a ontologia de processos proposta por Paik (2015). Um trecho possível de observar isso ocorre quando Lewis define ácidos e bases em termos de interações eletrônicas, não de substâncias fixas em Lewis (1923a, p.142, tradução própria):

Com completa generalidade, podemos dizer que uma substância básica é aquela que tem um par de elétrons solitário que pode ser usado para completar o grupo estável de outro átomo, e que uma substância ácida é aquela que pode empregar um par solitário de outra molécula para completar o grupo estável de um de seus próprios átomos.

Aqui, a ênfase está nos verbos "usar" e "empregar", que denotam ação e processo, não em propriedades intrínsecas da matéria. A basicidade ou acidez só existem em relação a outra espécie química, durante uma interação específica. Outro trecho relevante é a discussão sobre aminoácidos, onde Lewis (1923a, p.139, tradução própria) explica:

O grupo NH_2 é considerado um radical altamente negativo, mas os aminoácidos apresentam condutividade elétrica muito baixa. Esse fenômeno é explicado [...] como devido à formação de sais internos. [...] o íon hidrogênio que é liberado [da carboxila] recombina-se, formando um complexo de amônio com o nitrogênio.

Esse exemplo ilustra como a basicidade do NH_2 se manifesta quando em reação com o H^+ da carboxila. Isoladamente, o grupo amino não é uma "base" no sentido clássico; ele só assume essa função no contexto de um processo químico (a formação de uma ligação coordenada). Além disso, Lewis (1923a, p.146, tradução própria) critica explicitamente teorias que tratam afinidade química como propriedade estática:

Vimos neste capítulo quão pobre resíduo resta da outrora poderosa teoria eletroquímica. [...] forças eletrostáticas [...] não são responsáveis nem pelo arranjo fundamental dos elétrons na molécula nem pelas ligações que mantêm os átomos unidos.

Essa rejeição a modelos baseados em cargas fixas (como em Arrhenius) reforça que, para Lewis, ácidos e bases são entidades definidas por seu comportamento em reações, não por sua composição material. Por fim, a teoria magnética de Lewis (1923a, p.147, tradução própria) corrobora essa visão dizendo que se for considerar dois elétrons em um átomo, cada um dos quais possui um momento magnético unitário, os dois juntos podem resultar em um momento magnético de 2 ou 0, dependendo de como os dois ímãs elementares estão orientados para amplificar ou anular o efeito magnético, discutindo sobre a formação de ligações (incluindo ácido-base), essa afirmação é descrita como um processo de alinhamento dinâmico de spins eletrônicos, não como uma propriedade inerente aos átomos isolados.

Considerações Finais

A compreensão das teorias ácido-base de Arrhenius e Lewis, quando examinadas através da epistemologia bachelardiana, permite percebermos as potencialidades do referencial ao estudar os processos de construção do conhecimento científico. De acordo com Bachelard (1996, p.22), devemos distinguir cuidadosamente entre o olhar do historiador, que toma as ideias como fatos, e o do epistemólogo, que vê nos fatos ideias a serem reinseridas em sistemas de pensamento. Esta distinção é fundamental para analisarmos as teorias de Arrhenius (1887) e Lewis (1923) em sua independência conceitual.

Arrhenius desenvolveu sua teoria a partir de estudos sobre condutividade elétrica em soluções aquosas, conforme documentado em sua obra "Über die Dissociation der in Wasser gelosten Stoffe" (1887). Como observa Jensen (1980), seu trabalho estava profundamente enraizado no paradigma eletroquímico do arrheséculo XIX, onde a relação entre composição química e propriedades elétricas começava a ser estabelecida. A teoria arrheniana, ao definir ácidos como geradores de H^+ e bases como geradores de OH^- em solução aquosa, representava uma sistematização notável dos conhecimentos experimentais da época (SZABADVÁRY, 1964). Para Bachelard (1996), esta construção teórica constitui um "fato histórico" válido em seu contexto,

ainda que, do ponto de vista epistemológico, suas limitações posteriormente se revelassem como obstáculos a serem superados.

Lewis, por sua vez, formulou sua teoria em um contexto científico radicalmente diferente. Como destacam Laidler (1993) e Chagas (2000), a química do início do século XX passava por transformações profundas com o desenvolvimento da teoria eletrônica da ligação química. A definição de Lewis (1923) de ácidos como aceptores e bases como doadoras de pares eletrônicos, não surgiu como resposta direta às limitações de Arrhenius, mas como parte de um esforço mais amplo para compreender a reatividade molecular em seus fundamentos eletrônicos. Esta abordagem, como argumenta Paik (2015), permitiu explicar fenômenos que escapavam completamente ao escopo da teoria de Arrhenius, como a acidez de compostos sem hidrogênio (e.g., BF_3) e reações em solventes não aquosos.

A análise bachelardiana nos permite identificar tanto pontos de convergência quanto de divergência entre estas teorias. Ambas compartilham o objetivo fundamental de classificar e prever comportamento químico, estabelecendo critérios para identificar ácidos e bases e descrevendo seus modos de interação. No entanto, como demonstra Jensen (1980), seus conceitos fundamentais divergem, enquanto Arrhenius se baseia na dissociação iônica em meio aquoso, Lewis trabalha com a estrutura eletrônica molecular independentemente do solvente. Esta diferença não é meramente técnica, mas reflete, nas palavras de Bachelard (1978), distintos perfis epistemológicos, modos diferentes de formular e resolver problemas científicos. Os conceitos que separam as teorias demonstram sua incomensurabilidade parcial. Para Arrhenius, seguindo a tradição experimental de Ostwald (1884), a acidez está intrinsecamente ligada à presença de H^+ em água. Lewis, influenciado pelos avanços na compreensão da ligação química (Lewis, 1923), propõe uma visão onde a acidez é uma propriedade eletrônica universal. Como observa Chagas (2000), esta distinção não implica superioridade absoluta de uma teoria sobre outra, mas antes a existência de diferentes campos de aplicabilidade.

Numa perspectiva bachelardiana, a coexistência dessas teorias demonstra a pluralidade do conhecimento científico. Como argumenta Maar (1999), o obstáculo epistemológico da limitação aquosa na teoria de Arrhenius só se configura como tal quando enfrentamos problemas que exigem a abordagem de Lewis. Fora desse contexto, a teoria de Arrhenius, conforme seus postulados originais (Arrhenius, 1887), mantém plena validade operacional para sistemas aquosos simples. Esta análise

demonstra como a química, como ciência, opera com múltiplos sistemas conceituais que, longe de se excluírem mutuamente, se complementam ao abordar fenômenos em diferentes níveis de complexidade e de diferentes explicações.

O tratamento dos dados coletados nessa pesquisa combinou análise textual com interpretação contextual, buscando manter o equilíbrio entre a fidelidade aos textos originais e a compreensão de seu significado dentro do desenvolvimento histórico e epistemológico da química. Esse processo contribuiu com a ideia de como Arrhenius fundamentou sua teoria em dados experimentais de condutividade e termodinâmica de soluções, enquanto Lewis construiu sua abordagem a partir dos avanços na teoria eletrônica e na química de coordenação. A análise mostrou que essas teorias representam sistemas de construção de ideias a partir de rupturas epistemológicas, cada um com sua própria coerência dentro de contextos específicos.

Referências

CHAGAS, Aécio Pereira. Teorias ácido-base do século XX. **Química Nova na Escola**, [s. l], v. , n. 9, p. 1-3, maio 1999.

NUNES, Albino Oliveira; DANTAS, Josivânia Marisa; OLIVEIRA, Ótom Anselmo de; HUSSEIN, Fabiana Roberta G. e Silva. Revisão no Campo: o processo de ensino-aprendizagem dos conceitos ácido e base entre 1980 e 2014. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 185-196, 2016. Sociedade Brasileira de Química.

MACIEL, Caroline Alexandre; PEREIRA, Eduarda Ramos; MARCELINO, Daniela; CUNHA, Greice Kely dos Santos Bazani; GOULART, Helen; MOTTA, Marcela de Jesus; ROMANCINE, Vanessa Martins. A ONTOLOGIA E HERMENÊUTICA EM HEIDEGGER. **Seminário de Filosofia e Sociedade**, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2017.

LIMA, Maria Emília C. C.; BARBOZA, Luciana C. Idéias estruturadoras do pensamento químico: uma contribuição ao debate. **Química Nova na Escola**, n.21, p.39-43, 2005.

SANTOS, Laíce Cristina da Silva; SANTOS, Francisco José Borges dos. **Ácidos e bases: construção do conceito e apresentação nos livros didáticos**. 2021. 20 f. TCC (Doutorado) - Curso de Licenciatura em Química, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2021.

ABEGG, R. Die Valenz und das periodische System. *Zeitschrift für anorganische Chemie*, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 330-380, 1904.

ARRHENIUS, Svante. Über die Dissociation der in Wasser gelosten Stoffe. **Zeitschrift Für Physikalische Chemie**, v. 1, n. 1, p. 631-648, 1 fev. 1887. Walter de Gruyter GmbH.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise. Tradução de Estrela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACHELARD, Gaston. **A filosofia do não**. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

BELL, R. P. Acids and Bases: **Their Quantitative Behavior**. London: Methuen & Co., 1947.

BERZELIUS, J. J. Theory of Chemical Proportions and the Chemical Action of Electricity. London: W. Phillips, 1814.

BOYLE, Robert. **The Sceptical Chymist**. Londres: Dawsons Of Pall Mall, 1661.

BRONSTED, J.N. Rec. Trav .Chim. 1923, 42, 718; J. Phys. Chem. 1926, 30, 777; Chem. Rev. 1928, 5,

CHAGAS, Aécio Pereira. O ensino de aspectos históricos e filosóficos da Química e as teorias ácido-base do século XX. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 126-133, fev. 2000.

COULSON, Charles Alfred. **Valence: Theory chemistry** 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1961.

DAVY, Humphry. Electrochemical Researches. London: J. Johnson, 1808.

PARSON, Alfred Locke. **A Magnetron Theory of the Structure of the Atom**. Washington: Smithsonian Institution, 1915.

FARADAY, Michael. VI. Experimental researches in electricity.-Seventh Series. **Philosophical Transactions Of The Royal Society Of London**, [S.L.], v. 124, n. , p. 77-122, 31 dez. 1834. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1834.0008>.

GIBBS, J. W. On the equilibrium of heterogeneous substances. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences, [S.L.], v. 3, p. 108-248, 1876.

GILLESPIE, Ronald James. Molecular Geometry. London: Van Nostrand Reinhold, 1970.

HEIDEGGER, Martin. Ontologia: hermenêutica da facticidade. Tradução de Renato Kirchner. Petrópolis: Vozes, 2013.

HOLMYARD, Eric John. **Alchemy**. Middlesex: Penguin Books, 1957.

JENSEN, William B.. **Os conceitos ácido-base de Lewis**: uma visão geral. Nova Iorque: Wiley, 1980.

JENSEN, William B.. The Origin of the Term. **Journal Of Chemical Education**, [S.L.], v. 83, n. 8, p. 1130, ago. 2006. American Chemical Society (ACS).

KAUFFMAN, George B. Alfred Werner: Founder of Coordination Chemistry. Berlin: Springer, 1974.

KOUSATHANA, M. et al. History of chemistry in education. *Science & Education*, [S.L.], v. 14, n. 3-5, p. 393-410, 2005.

LAIDLER, Keith J. *The World of Physical Chemistry*. **Oxford University Press**, [S.L.], 3 jun. 1993. Oxford University Press Oxford.

LANGMUIR, Irving. The arrangement of electrons in atoms and molecules. *Journal of the American Chemical Society*, [S.L.], v. 41, n. 6, p. 868-934, 1919.

LUX, Hermann. "Säuren" und "Basen" im Schmelzfluss: die bestimmung der sauerstoffionen :konzentration. **Zeitschrift Für Elektrochemie Und Angewandte Physikalische Chemie**, [S.L.], v. 45, n. 4, p. 303-309, abr. 1939. Wiley.

FLOOD, Hakon.; FORLAND, T.; SILLÉN, Lars Gunnar; LINNASALMI, Annikki; LAUKKANEN, Pentti. The Acidic and Basic Properties of Oxides. **Acta Chemica Scandinavica**, [S.L.], v. 1, p. 592-604, 1947. Danish Chemical Society.

LAVOISIER, Antoine Laurent. **Traité élémentaire de chimie**. Paris: Chez Cuchet, 1789.

LEWIS, G. N. **The atom and the molecule**. *Journal of the American Chemical Society*, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 762-785, 1916.

LEWIS, Gilbert N. **Valence and the Structure of Atoms and Molecules**. New York: Chemical Catalog Company, 1923a.

LEWIS, Gilbert N. Introductory address: Valence and the electron. **Transactions of the Faraday Society**, p. 452-458, 1923b.

USANOVICH, Michail Illyich. On acids and bases. **General Chemistry**, p. 182–192, 1939.

LIEBIG, Justus Von. Ueber die Constitution der organischen Säuren. *Annalen der Pharmacie*, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 113-189, 1838.

LOWRY, T. M. *Chem. and Ind.* 1923, 42, 43; *J. Chem. Soc.* 1927, 2554.

MAAR, Juergen Heinrich. **Pequena história da química**: uma história da ciência da matéria. Florianópolis: Papa-Livro, 1999.

MUSHER, Jeremy. The chemistry of hypervalent molecules. *Angewandte Chemie International Edition*, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 54-68, 1969.

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

HELMHOLTZ, Hermann von. **Wissenschaftliche Abhandlungen**, Leipzig: Johann Ambrosius Barth. 1882

OSTWALD, Wilhelm. Studien zur chemischen Affinität. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1884.

PAIK, Seoung-Hey. Understanding the Relationship Among Arrhenius, Bronsted–Lowry, and Lewis Theories. **Journal Of Chemical Education**, [S.L.], v. 92, n. 9, p. 1484-1489, 28 jul. 2015. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ed500891w>.

PAULING, L. The Nature of the Chemical Bond. 3. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1960.

PEARSON, Ralph Gottfrid. Hard and Soft Acids and Bases. **Journal Of The American Chemical Society**, [S.L.], v. 85, n. 22, p. 3533-3539, nov. 1963. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ja00905a001>.

PIMENTEL, George Claude. The Chemical Bond: A Brief Introduction to Its Modern Theory. San Francisco: W. H. Freeman, 1960.

PULLMAN, Bernard. The Atom in the History of Human Thought. Oxford: Oxford University Press, 1998.

SCERRI, Eric. The Periodic Table: Its Story and Its Significance. Oxford: Oxford University Press, 2007.

SERVOS, John William. Physical Chemistry from Ostwald to Pauling: The Making of a Science in America. Princeton: Princeton University Press, 1990.

SOUZA, Cleuzane Ramalho de; SILVA, Fernando César. Discutindo o contexto das definições de ácido e base. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 14-18, fev. 2018. Sociedade Brasileira de Química (SBQ).

KOHLRAUSCH, Friedrich. Ueber Thermoelektricität, Wärme- und Elektrizitätsleitung. **Annalen Der Physik**, [S.L.], v. 232, n. 12, p. 601-618, jan. 1875. Wiley.

SZABADVÁRY, F. History of Analytical Chemistry. Oxford: Pergamon Press, 1966.

WERNER, Alfred. Ueber Hydroxylaminessigsäure und Derivate derselben. **Berichte Der Deutschen Chemischen Gesellschaft**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 1567-1571, maio 1893. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/cber.18930260274>.

DALTON, John. Versuche über die Verdunstung. **Physik**, Manchester, v. 1, n. 10, p. 121-143, jan. 1803.

PROUST, Joseph-Louis. Recherches sur le bleu de Prusse. **J Phys**, v. 45, p. 334-335, 1794.

WILKINSON, Geoffrey. The preparation and properties of transition metal complexes. *Journal of the Chemical Society*, [S.L.], p. 3199-3212, 1952.

SANTOS, Guilherme Brahm dos; BARDINI, Laura da Silva; PASTORIZA, Bruno dos Santos. Mapeando os conceitos fundamentais no Ensino de Química. In: ENCONTRO

DE DEBATES SOBRE O ENSINO DE QUÍMICA, 39., 2019, Lajeado. **Anais [...]**. Lajeado: Univates, 2019. p. 704-711.

TOZONI-REIS, Marília Freitas de Campos. **Metodologia da Pesquisa**. 2. ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009

CONFORTO, Edivandro Carlos; AMARAL, Daniel Capaldo; SILVA, Sérgio Luis da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 8., 2011, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Cbgdp, 2011. p. 1-12.

FRANKLIN, Edward Curtis. REACTIONS IN LIQUID AMMONIA.1. **Journal Of The American Chemical Society**, [S.L.], v. 27, n. 7, p. 820-851, jul. 1905. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ja01985a002>.

GUTMANN, Viktor. Empirical parameters for donor and acceptor properties of solvents. **Electrochimica Acta**, [S.L.], v. 21, n. 9, p. 661-670, set. 1976. Elsevier BV.

BOHR, N.. XXXVII. On the constitution of atoms and molecules. **The London, Edinburgh, And Dublin Philosophical Magazine And Journal Of Science**, [S.L.], v. 26, n. 153, p. 476-502, set. 1913. Informa UK Limited.

SCHRODINGER, Erwin. An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules. **Physical Review**, [S.L.], v. 28, n. 6, p. 1049-1070, 1 dez. 1926. American Physical Society (APS). <http://dx.doi.org/10.1103/physrev.28.1049>.

MULLIKEN, Robert Sanderson. Electronic Structures of Polyatomic Molecules and Valence. II. General Considerations. **Physical Review**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 49-71, 1 jul. 1932. American Physical Society (APS). <http://dx.doi.org/10.1103/physrev.41.49>.

HUND, Friedrich. Zur Deutung der Molekelspektren. III. **Zeitschrift FÜR Physik**, [S.L.], v. 43, n. 11-12, p. 805-826, nov. 1927. Springer Science and Business Media LLC.

THOMSON, Joseph John. XL. Cathode Rays. **The London, Edinburgh, And Dublin Philosophical Magazine And Journal Of Science**, [S.L.], v. 44, n. 269, p. 293-316, out. 1897. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/14786449708621070>.

VAN'T HOFF, Jacobus Henricus. **Une propriété générale de la matière diluée**. 1886.

PAULING, Linus. THE NATURE OF THE CHEMICAL BOND: application of results obtained from the quantum mechanics and from a theory of paramagnetic susceptibility to the structure of molecules. **The Nature Of The Chemical Bond**, California, v. 53, n. 280, p. 1367-1400, fev. 1931.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C e ABBOTT, M. M. **Introdução à termodinâmica da engenharia Química**. Editora LTC, 5ª edição, 2000.

5. Prelúdio aos artigos acerca dos materiais didáticos

Após a investigação do conceito de Ácidos e Bases a partir de uma perspectiva epistemológica, abordada no artigo 1, a seguir, apresentaremos os artigos 2 e 3, que se dedicam à investigação do conceito de Ácidos e Bases em materiais didáticos. Esses artigos analisam diferentes fontes de conteúdo, a saber: os livros do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2021 e nos livros do Ensino Superior. A pesquisa nesses materiais tem como objetivo mapear a abordagem desses conceitos no contexto educacional, identificando como os Ácidos e Bases são apresentadas e trabalhadas nesses diferentes tipos de materiais, com o intuito de identificar como são dispostos em diversos contextos de ensino.

5.1 Artigo 2:

Investigando conceitos fundamentais: Ácidos e Bases nos livros didáticos do PNLD de 2021

Resumo:

O presente estudo tem como objetivo investigar os conceitos de ácido e base nos livros didáticos do edital de 2021 do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) e analisar como esses conceitos são abordados e discutidos, além de identificar o que os autores consideram fundamental para o ensino da Química. A pesquisa foi realizada através da Análise de Conteúdo segundo Bardin (1977), resultando na formação de cinco categorias que classificam as unidades emergentes da análise. Estas categorias revelam como os conceitos de ácidos e bases são descritos nos livros didáticos de Química do edital de 2021 do PNLD. Através das análises percebemos que a teoria de Svante Arrhenius é a principal abordagem utilizada, seguida pelas teorias de Bronsted-Lowry e Lewis, embora estas últimas não possuam a mesma relevância que a teoria de Arrhenius.

1. Introdução

Este trabalho visa investigar os conceitos fundamentais propostos para o Ensino de Química, com o foco específico nos conceitos de Ácidos e Bases. Como parte de um estudo mais amplo, conduzimos uma análise dos livros didáticos adotados na Educação Básica, especialmente os incluídos no edital de 2021 do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) destinados ao Ensino Médio na área de Ensino de Química/Ciências.

Em consonância com as reflexões de Taber (2019), reconhecemos a complexidade inerente à disciplina da Química, caracterizada por uma alta densidade de ideias abstratas e a necessidade de explicação de fenômenos que ocorrem em um domínio invisível e submicroscópico. Diante desse cenário, nosso estudo busca compreender como os conceitos de Ácidos e Bases são apresentados nos livros didáticos pois, de acordo com Chagas (1999), compreendemos que o conhecimento sobre este tema possui extrema relevância não só para a própria Química, mas também para o mundo e a sociedade, pois as diferentes teorias propostas por vários pesquisadores permitem diversas aplicações e relações.

Especificamente sobre os conceitos de ácidos e bases, entende-se que são conceitos originados há séculos, mas que se modificaram ao longo do tempo. Atualmente, reconhecem-se Svante Arrhenius, Johannes Bronsted, Thomas Lowry e Gilbert Lewis como os principais químicos referenciados na discussão sobre ácidos e bases, cada um com diferentes enfoques e finalidades que contribuem para o ensino da Química (Nunes, Dantas, Oliveira e Hussein, 2016; Santos, e dos Santos, 2021). Assim, entendemos que há várias maneiras de conceituar ácidos e bases, podendo ser por meio de suas características e propriedades, composição química, reações de dissociação, associação de conceitos, estrutura atômica e molecular, e reações de adição.

O conhecimento sobre este conteúdo tem um papel fundamental nas discussões não só da Química, mas também da Biologia e das Ciências da Natureza, pois, em alguns casos, reações ácidas e básicas ocorrem em nosso organismo. Dado isso, esses termos estão constantemente presentes em nosso cotidiano, em alimentos, medicamentos, materiais de limpeza e muitos outros materiais utilizados. Além disso, as palavras “ácido”, “base” e “neutro” são frequentemente usadas para indicar características de alguns materiais (Figueira, 2010). De acordo com Figueira (2010, p.7.) Um dos exemplos é que quando ouvimos alguém dizer que uma fruta é mais ou menos ácida que outra, ou que determinado sabão é neutro, entendemos o que se quer dizer. Portanto, essas e outras justificativas evidenciam a importância de abordar este conteúdo em sala de aula, bem como de aprofundá-lo e incluí-lo nos livros didáticos (LD).

Fernandes e Porto (2011) e Frison, Vianna, Chaves e Bernardi (2009) ressaltam a importância dos livros didáticos como ferramentas primordiais no processo educacional, destacando sua capacidade de facilitar a aprendizagem e servir como

referenciais teóricos. Ao abordar os conceitos de ácidos e bases nesses livros, é importante considerar como esses materiais adequam a compreensão dos alunos sobre essas substâncias e seus comportamentos químicos. A caracterização dos livros didáticos por Choppin (2004) como "depósitos de conhecimento e técnicas explicativas" implica em compreender que a forma como os conceitos de ácidos e bases são apresentados pode influenciar profundamente a percepção dos estudantes sobre a natureza da ciência e do conhecimento científico.

Portanto, uma análise crítica dos livros didáticos no contexto do ensino de ácidos e bases é fundamental para compreender como esses materiais educativos adequam a compreensão e o pensamento dos alunos em relação a esses conceitos fundamentais da Química. Em vista disso, conforme Vasconcellos (1993), os livros didáticos de Ciências/Química podem constituir-se como instrumentos capazes de promover a reflexão sobre os múltiplos aspectos da realidade e estimular a capacidade investigativa dos estudantes. Dessa forma, eles assumem um papel autônomo e, conseqüentemente, a posição de protagonistas na construção de seu conhecimento.

Nesse sentido, sabendo que a Química é uma disciplina que faz parte do programa curricular do Ensino Fundamental e Médio, é importante considerar a observação dos autores Santos, Bardini e Pastoriza (2020, p. 1):

a discussão de fundamentalidade e relevância podem ser mais extensas, pois a aprendizagem de Química deve possibilitar aos alunos a compreensão das transformações químicas que ocorrem no mundo físico de forma abrangente e integrada, para que esses possam julgar, com fundamentos, as informações adquiridas na mídia, na escola, com pessoas, etc.

Dado o destaque da Ciência Química e o papel fundamental que os livros didáticos desempenham para estudantes, professores e a sociedade, o presente trabalho tem como objetivo analisar como os conceitos de ácido e base são descritos e apresentados nos livros didáticos de Química da Educação Básica, conforme o edital de 2021 do PNLD.

Ressaltamos que esta análise foi desenvolvida com base na metodologia de análise de conteúdo de Bardin (1977). Dessa forma, os resultados do nosso trabalho emergiram das unidades e categorias identificadas após a análise de cada LD selecionado. Com isso, foram criadas quatro categorias: (1) Abordagem Histórica, (2) Associação do Conceito, (3) Características Comportamentais, (4) Pensamento Matemático e (5) Simbolismo.

2. Metodologia

Este trabalho baseou-se em uma análise de conteúdo de acordo com Bardin (1977) e possui um caráter qualitativo, propondo três etapas de atividade: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados. Na pré-análise, o objetivo é organizar os documentos que serão analisados, elaborando indicadores que fundamentaram a interpretação final. Assim, a pré-análise envolve três tarefas principais: seleção dos documentos a serem analisados, formação de hipóteses e objetivos, e elaboração dos indicadores que fundamentaram a interpretação final.

Em relação a este trabalho, a etapa de pré-análise foi conduzida através da busca dos conceitos de ácido e base nos trechos dos livros didáticos que continham os termos denominados como: Ácido, Base, Ácida, Básica, Forte, Fraca, Fraco, pH, Arrhenius, Bronsted-Lowry, Lewis, Eletrólito e Eletrolítica.

Com base em nossas buscas encontramos um total de 42 LD da área da Ciências da Natureza no edital de 2021 do PNLD. Posteriormente, houve um refino e com isso 26 livros foram retirados da análise, visto que esses livros não constam a definição do conceito buscado, nesse caso, entende-se que os autores assumem que o leitor reconheça o conceito inicial de ácido e base, mediante a isto, somente 16 LD estiveram presentes no processo final da análise.

Em seguida a esta fase inicial, ocorre a etapa de exploração do material, na qual se realiza a codificação e unitarização dos trechos analisados nos livros didáticos. A codificação consiste na transformação das informações em segmentos numerados, possibilitando assim a representação do conteúdo e destacando suas características, agregações e enumerações. Essa abordagem visa atingir uma representação do conteúdo ou de sua expressão, fornecendo ao pesquisador uma compreensão mais clara das características do texto, que pode servir como um índice. Destaca-se que essa codificação resulta na identificação de unidades de registro (palavras, temas, personagens e acontecimentos) e unidades de contexto. A organização da codificação visa classificar-se em três aspectos: seleção das unidades, definição das regras de contagem e categorização. No contexto deste trabalho, os processos de codificação e unitarização são realizados por meio da busca dos conceitos de ácido e base em cada LD encontrado. Nesta perspectiva, cada livro é codificado de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1: Resultados dos livros Didáticos Analisados

Código	Unitarização	Título	Edição	Ano de Publicação
--------	--------------	--------	--------	-------------------

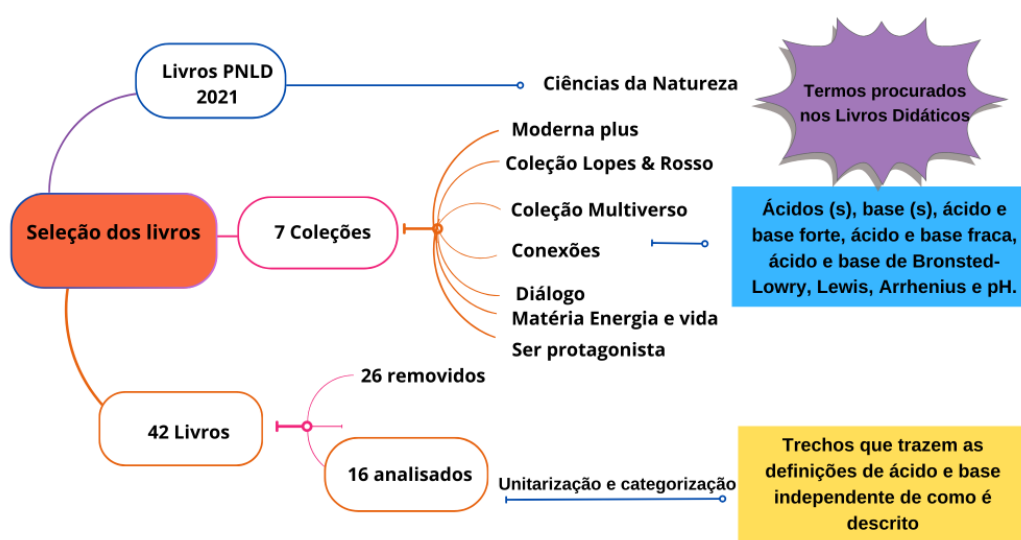
L1	L1Un	Ciências da Natureza Lopes & Rosso - Água, Agricultura e o uso da terra	1	2020
L2	L2Un	Ciências da Natureza Lopes & Rosso - Corpo humano e vida saudável	1	2020
L5	L5Un	Ciências da Natureza Lopes & Rosso - Poluição e Movimento	1	2020
L7	L7Un	Ciências da Natureza, Matéria, Energia e Vida	1	2020
L8	L8Un	Ciências da Natureza, Movimentos e equilíbrios da natureza	1	2020
L11	L11Un	Ciências da Natureza, Ciência, sociedade e ambiente	1	2020
L14	L4Un	Moderna Plus Ciências e suas tecnologias - Água e Vida	1	2020
L16	L16Un	Moderna Plus Ciências e suas tecnologias - Humanidade e Ambiente	1	2020
L19	L19Un	Conexões Ciências e suas tecnologias - Matéria e energia	1	2020
L23	L23Un	Conexões Ciências e suas tecnologias - Terra e equilíbrios	1	2020
L26	L26Un	Diálogo Ciências e suas tecnologias - Vida na terra, como é possível?	1	2020
L29	L29Un	Diálogo Ciências e suas tecnologias - Ser humano: Origem e funcionamento	1	2020
L30	L30Un	Diálogo Ciências e suas tecnologias - Ser humano e meio ambiente: Relações e consequências	1	2020
L33	L33Un	Matéria, Vida e Energia, Uma abordagem interdisciplinar - O mundo atual: Questões sociocientíficas	1	2020
L38	L38Un	Ser protagonista Ciências da natureza: Matéria e Transformação	1	2020
L41	L41Un	Ser protagonista Ciências da natureza: Ambiente e ser humano	1	2020

Fonte: Autores

Por sua vez, o terceiro estágio está relacionado ao tratamento dos resultados, destinado à validação das unidades encontradas e à interpretação dos resultados. Para organizar as respostas, Bardin (1977) sugere a criação de categorias, visando realizar uma operação de classificação dos elementos constituintes de um conjunto, iniciando com uma diferenciação e, posteriormente, um reagrupamento das respostas.

Após a organização das unidades identificadas, procedemos com a interpretação de cada uma delas. Ao analisá-las, destacamos várias abordagens que descrevem os conceitos de ácidos e bases. Dessa forma, foram criadas quatro categorias para classificar os elementos constituintes do conjunto e diferenciar as características e particularidades das abordagens de descrição. As categorias estabelecidas foram: *Abordagem Histórica*, *Associação do Conceito*, *Características Comportamentais*, *Pensamento Matemático e Simbolismo*.

Figura 1: Sistematização sobre análise dos livros didáticos



Fonte: Autores

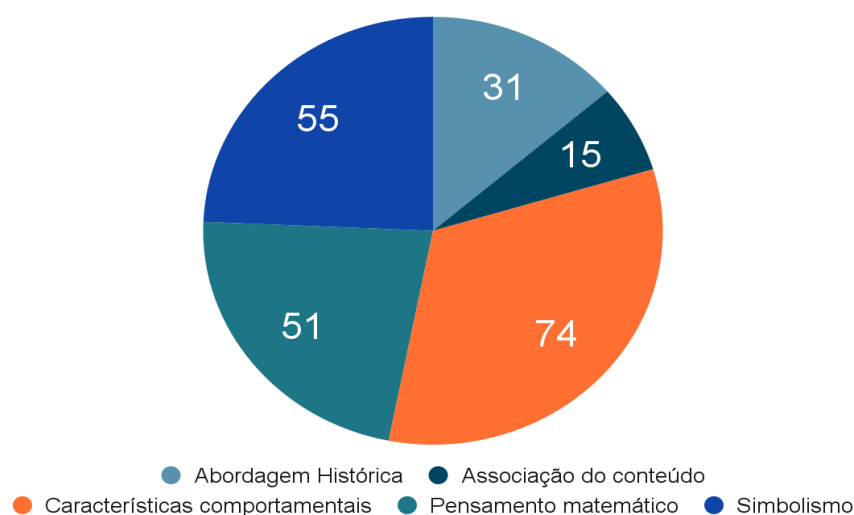
3. Resultados e discussão

Durante a realização das etapas de análise de conteúdo conforme descrito por Bardin (1977), ocorreu uma síntese detalhada das unidades, totalizando 226 unidades que de alguma forma apresentam e descrevem o conceito de ácido e base.

É importante ressaltar que, para este trabalho, o termo "conceito" está fundamentado na definição de Dahlberg (1978; 2012). Segundo o autor, esse termo se refere a uma unidade de conhecimento, compreendendo afirmações verdadeiras relacionadas a um item de referência. Além disso, a autora descreve o conceito como um conjunto de enunciados verdadeiros sobre um objeto específico, expresso linguisticamente, e como uma síntese das características essenciais relacionadas a esse objeto.

Com base nisso, ao buscar os conceitos de ácido e base nos livros didáticos da Educação Básica, procuramos identificar trechos que abordassem formulações de ideias, definições e afirmações verdadeiras relacionadas aos itens de referência (ácido e base). Para evidenciar isto, foi criado um quadro para cada categoria, em que apresenta os tópicos mais descritos nos LD analisados neste trabalho, que será apresentado a seguir. Para uma melhor visualização desses apontamentos o Gráfico 1 está disposto abaixo para possibilitar essa compreensão.

Gráfico 1: Quantificação das unidades classificadas em cada categoria emergida



Fonte: Autoria própria (2024)

Conforme o gráfico é possível perceber que as 226 unidades analisadas foram distribuídas em cinco categorias. A maior parte, com 74 unidades, pertence à categoria "Características comportamentais". Em seguida, 55 unidades estão classificadas na categoria "Simbolismo". Já 51 unidades se enquadram em "Pensamento", enquanto 31 unidades foram alocadas na categoria "Abordagem Histórica". Por último, 15 unidades correspondem à categoria "Associação do conteúdo".

Antes de aprofundarmos as ideias de cada categoria criada, enfatizamos que, para a busca dos conceitos nos LD, utilizamos como base o referencial de Dahlberg (1978, 2011). Segundo a pesquisadora, o termo "conceito" é retratado como uma unidade de conhecimento que compreende afirmações verdadeiras relacionadas a um item de referência. Além disso, Dahlberg descreve o conceito como um conjunto de enunciados verdadeiros compilados em relação a um objeto, fixados de modo linguístico, e envolvendo uma síntese das características essenciais sobre um referente.

3.1.1 Categoria 1 - Abordagem Histórica

No que se refere à Abordagem Histórica, é importante destacar que foi concebida devido às frequentes referências a trechos que discutem a história dos conceitos de ácido e base. Os livros didáticos que apresentam essa abordagem são: L1, L2, L5, L7, L14, L19, L23, L29, L30, L33 e L38, totalizando 31 unidades classificadas nesta categoria. As unidades identificadas proporcionam uma perspectiva que relaciona a explicação dos conceitos com eventos históricos, buscando investigar episódios que contribuem para a compreensão da formação dos conhecimentos já estabelecidos (Da Silva, 2019). Além disso, essa abordagem possui o potencial de promover uma melhor compreensão da natureza da Ciência, uma vez que os estudos históricos fornecem elementos que fomentam discussões sobre os conceitos (Moura, 2014).

Em relação a esta categoria, identificamos duas subdivisões para essa abordagem. Das 31 unidades que descrevem os conceitos de ácidos e bases empregando a história, percebemos que existem duas finalidades distintas utilizadas nos diferentes livros didáticos. Uma delas visa abordar e apresentar informações históricas aprofundadas sobre os conceitos de ácidos e bases. Enquanto isso, a outra finalidade tem o objetivo apenas de destacar dados historiográficos relacionados a esse tema.

Sobre as informações históricas aprofundadas, as unidades correspondentes descrevem e definem os conceitos de ácidos e bases em relação aos cientistas que os propuseram, a região em que esses cientistas estavam situados, o século da proposta, além de sua relevância na sociedade e outros aspectos históricos pertinentes. Essa abordagem valoriza os aspectos descritivos e as perspectivas individuais, buscando compreender os indivíduos envolvidos e o contexto em que os conceitos foram formulados (Freitas, 2002).

Esse enfoque foi observado nos livros L1, L2, L5, L7, L14 e L19, cujos trechos contêm descrições que evidenciam as relações anteriormente mencionadas. Para uma melhor compreensão dessas informações históricas aprofundadas, destacamos as unidades L1U9, L5U1 e L19U2, destacadas no Quadro 2.

Quadro 2: Unidades pertencentes à categoria abordagem histórica.

Unidade	Trecho
L1U9	Esses e outros modelos explicativos foram estudados pelo químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927), que, em 1887, apresentou uma teoria sobre soluções,

	considerando a dissolução das substâncias em água. De acordo com essa teoria, conhecida como teoria eletrolítica de Arrhenius, as partes que formam uma substância podem se separar em solução, conservando cargas elétricas opostas, ou seja, liberam-se íons em maior (Fig. 3.8 A) ou menor (Fig. 3.8 B) extensão. Ao aplicar um potencial elétrico, os íons se movem para os polos com cargas opostas. Há, porém, substâncias que não formam íons livres em solução, o que explica a diferença de comportamento entre elas em relação à condutividade elétrica.
L5U1	Uma das primeiras sistematizações sobre o comportamento ácido-base dos materiais foi feita pelo filósofo irlandês Robert Boyle (1627-1691), em seu livro <i>Experimental History of Colours</i> (História experimental das cores). Nessa obra, ele relatou, por exemplo, que alguns extratos vegetais tinham suas cores alteradas na presença de substâncias de caráter ácido ou básico. Mais tarde, as substâncias ativas presentes nesses extratos, como as antocianinas, e as substâncias sintéticas com a mesma propriedade, como a fenolftaleína e o alaranjado de metila, foram denominadas indicadores ácido-base.
L19U2	O uso de corantes por artesãos, na tinturaria, e por artistas, em pinturas, levou à constatação de que, com o tempo, ou na presença de certas substâncias, esses pigmentos tinham a coloração alterada. Graças a observações desse tipo, que permitem diferenciar um meio ácido de um básico mediante a mudança de cor, é que se passou a usar os chamados indicadores ácido-base, de grande valia até os dias de hoje. Em suas pesquisas, Boyle constatou que certos materiais não alteravam a coloração desses corantes e classificou-os como neutros. Apoiando-se em experimentos, Boyle foi um dos primeiros a estabelecer formalmente que é ácida “qualquer substância que torne vermelhos os extratos de plantas”. Observações posteriores, porém, levaram à conclusão de que nem todos os indicadores, diante de um meio ácido ou básico, respondiam com as mesmas mudanças de cor.

Fonte: Autoria própria (2024)

Compreender no percurso histórico dos conceitos de ácido e base é mobilizador para ensinar e aprender Química de forma significativa. Ao examinar os livros didáticos, percebe-se como as ideias científicas se entrelaçam com os momentos históricos que as moldaram. Os autores não se limitam a descrever as teorias consagradas de Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis; vão além, resgatando contribuições fundamentais de figuras como Robert Boyle, Lavoisier e o notável brasileiro Vicente Coelho de Seabra Silva Telles. Essa perspectiva enriquece o estudo, mostrando que a ciência é, acima de tudo, uma construção coletiva e dinâmica.

Essa contextualização vai além da simples descrição dos eventos históricos, ela proporciona uma compreensão mais profunda dos conceitos, mostrando como foram influenciados pelo contexto social, cultural e científico de suas épocas. Ao compreender a construção dessas teorias ao longo do tempo, os estudantes são capacitados a relacionar os conceitos abstratos da Química com situações do mundo real, como aplicações industriais e implicações na saúde humana.

Destaca-se que o enfoque histórico não apenas enriquece o aprendizado dos estudantes, mas também os capacita a resolver problemas complexos e a desenvolver habilidades críticas de análise e interpretação (Lima, 2020). Portanto, os resultados

desta análise reforçam a importância da Abordagem Histórica no ensino de Química, evidenciando seu potencial para promover uma compreensão mais holística e significativa dos conceitos científicos.

Por outro lado, ao considerarmos os dados dessa categoria, podemos nos basear nas definições de Martins (2019) e Anhezini e Silva (2011) para compreendermos o aspecto de historiografia, que é uma técnica apresentada na maioria dos livros, uma vez que Martins descreve a historiografia como a história escrita, narrativas produzidas pelos historiadores profissionais que apresentam, de forma metodicamente organizada, a base empírica verificada de suas pesquisas, nesse sentido, para Martins (2019) é fundamental compreender, recordar, registrar e interpretar esses discursos para uma compreensão mais profunda do passado. Por sua vez, Anhezini e Silva (2011) destacam a historiografia como a produção de trabalhos científicos que, por meio de pesquisas empíricas, narram uma explicação significativa para um conjunto de ações racionalmente fundamentadas no passado. Essa disciplina possui a capacidade de estabelecer uma conexão entre o tempo presente e a experiência do passado registrada nas fontes, proporcionando uma reflexão contextualizada sobre essa experiência. Essas definições ressaltam a importância da historiografia como um instrumento essencial para compreendermos e interpretarmos o passado de forma significativa.

Diante dessa perspectiva, as unidades que englobam esses dados se limitam a apresentar apenas os cientistas que propuseram as teorias, os séculos e a origem desses termos. Observamos que em alguns trechos não há uma descrição detalhada dos cientistas. Com a inclusão desses elementos, as unidades que abordam os dados historiográficos concentram-se principalmente na descrição dos conceitos de ácidos e bases em si, constituindo-se em um argumento narrativo que busca refletir e contextualizar a experiência dos conceitos. Destacamos que as unidades com essa abordagem são encontradas nos livros L14, L23, L29, L30 e L38. Para tornar esse raciocínio mais compreensível, ressaltamos as unidades L14U4, L30U3 e L38U5, evidente no Quadro 3.

Quadro 3: unidades pertencentes a categoria abordagem histórica.

Unidade	Trecho
L14U4	O químico sueco Svante August Arrhenius (1859 -1927) realizou experimentos sobre diversos temas, entre eles a condutividade elétrica de soluções. Formulou a hipótese

	de que soluções eletrolíticas contêm íons dissolvidos, provenientes da ionização ou dissociação iônica da substância dissolvida em água. Esses íons, dotados de mobilidade, são responsáveis pela condutividade elétrica da solução. Fundamentado em suas investigações, propôs que ácido é um composto que, dissolvido em água, origina H^+ como único cátion. Assim, para Arrhenius, as propriedades coletivas dos ácidos se devem ao íon H^+ liberado quando se dissolvem em água, já que o ânion varia de ácido para ácido. Consideremos a ionização em água do HCl (que é um ácido): $HCl(g) + H_2O \rightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$.
L30U3	O químico estadunidense Gilbert Lewis (1875 - 1946) propôs uma teoria para ácidos e bases ainda mais abrangente do que aquelas propostas por Arrhenius e Bronsted-Lowry. De acordo com a teoria de Lewis: • Base é toda espécie química capaz de ceder pares eletrônicos; • Ácido é toda espécie química capaz de receber pares eletrônicos. Na reação, a amônia (NH_3) cede um par de elétrons para o trifluoreto de boro (BF_3). Como produto, temos o trifluorborato de amônia (BF_3H_3N), formado pelo compartilhamento de elétrons. Portanto, o NH_3 é a base Lewis, enquanto o BF_3 é o ácido Lewis.
L38U5	Em 1923, uma teoria mais abrangente sobre ácidos e bases foi proposta independentemente pelo químico dinamarquês Johannes Bronsted (1879-1947) e pelo químico inglês Thomas Lowry (1874-1936). De acordo com essa teoria, a definição de ácidos e bases ocorre em função da capacidade das espécies químicas (compostos moleculares ou íons) de doarem ou receberem próton (íon H^+ ou núcleo de hidrogênio) e não se restringe a sistemas aquosos. Segundo a teoria de Bronsted-Lowry: • Ácido é uma espécie química doadora de próton (H^+). • Base é uma espécie química receptora de próton (H^+). • Reações ácido-base são aquelas em que há transferência de prótons. Por essa teoria, as reações de neutralização seriam uma transferência de prótons (H^+) entre um ácido e uma base, tendo como consequência a formação de dois pares ácido-base conjugados, os quais compreendem espécies que diferem em um H^+.

Fonte: Autoria própria (2024)

Diante disso, as unidades com essa finalidade nos livros didáticos desempenham o papel de descrever, interpretar e explicar as definições fornecidas pelos cientistas ao longo da história. Dessa maneira, torna-se evidente que os autores desses livros utilizam a abordagem histórica, em particular os dados historiográficos, para contextualizar, conhecer e apresentar aos alunos as teorias que ao longo dos séculos foram propostas como conceitos fundamentais relacionados aos ácidos e bases.

Ao longo dos séculos, os conceitos de ácidos e bases foram sendo definidos por meio de diversas concepções e teorias propostas por inúmeros cientistas. No entanto, algumas dessas teorias destacam-se mais do que outras, como foi o caso da teoria proposta pelo químico sueco Svante Arrhenius. Essa predominância da teoria de Arrhenius tornou-se evidente durante a análise dos livros didáticos, nos quais sua teoria foi a mais frequentemente abordada nos diferentes trechos. Diante dessa

constatação, decidimos criar uma categoria específica para discutir e argumentar em relação a essa observação.

3.1.2 Categoria 2 - Associação do conteúdo

Como visto anteriormente, esta categoria emergiu em diversos trechos dos diferentes livros que descrevem o conceito de ácido e base de acordo com a teoria proposta por Arrhenius. Entretanto, é importante ressaltar que essa teoria surgiu através de uma associação ao conceito de eletrólito ou soluções eletrolíticas. O conceito de Arrhenius para ácidos e bases surgiu de forma indireta, uma vez que sua teoria tinha como foco discutir os fenômenos elétricos que ocorrem entre as moléculas de certas substâncias quando dissolvidas em água (Leão, 1936).

Acerca dos livros históricos como “Química: Iniciação ao Estudo dos Fenômenos Químicos” (1936), retrata-se que Arrhenius propôs uma teoria para discutir os comportamentos elétricos de moléculas em meio aquoso, denominando como eletrólitos ou soluções eletrolíticas aquelas que conduzem corrente elétrica, ou seja, liberam íons, sendo estes íons positivos (cátions) e negativos (ânions). Por exemplo, se tivermos uma solução em água, a propriedade de conduzir eletricidade se deve principalmente aos íons ou radicais, que estão livres; substâncias que se dissociam em solução em duas partes, uma positiva e outra negativa, conduzem eletricidade (Arrhenius, 1912).

A partir das ideias que promoveram a construção desse conceito, o químico sueco percebeu que o ácido clorídrico e o ácido nítrico, quando dissolvidos em água, conduzem corrente elétrica devido à liberação do cátion hidrogênio (H^+). Como resultado, Svante Arrhenius classificou substâncias ácidas como aquelas que, ao se dissociarem em meio aquoso, resultam em cátions H^+ (Leão, 1936). Isso evidencia que a concepção de ácido guarda semelhança com a de um eletrólito, ou seja, ocorre a liberação de cátions ao se dissociar em meio aquoso. Nessa perspectiva, foram identificadas 15 unidades em diferentes livros didáticos que abordam o conceito de ácido e base associado à teoria de eletrólitos ou soluções eletrolíticas propostas por Svante Arrhenius. Os livros inseridos nessa categoria são: L1, L2, L14, L19, L30, L38 e L41. Além disso, é possível observar esses argumentos nas unidades específicas: L2U6, L14U4, L41U3 e L41U9, evidentes no Quadro 4.

Quadro 4: Unidades pertencentes a categoria Associação do conteúdo.

Unidade	Trecho
L2U6	Um equilíbrio ácido-base é um equilíbrio químico em que participam espécies químicas de caráter ácido e básico. No entanto, os conceitos de ácidos e bases foram se alterando ao longo do tempo. Talvez a primeira associação entre o caráter ácido- - base das substâncias e a química dos íons H^+ tenha surgido na teoria da dissociação eletrolítica proposta, em 1887, pelo químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927).
L19U6	HCl, HNO_3 e H_2SO_4 são exemplos de substâncias que, segundo o conceito de Svante August Arrhenius (1859 -1927), proposto em 1884, liberam íons com mobilidade na presença de água, ou seja, são eletrólitos. Podemos definir eletrólitos como substâncias que, ao se dissolverem em água, produzem uma solução que é boa condutora de corrente elétrica.
L41U3	Os ácidos são eletrólitos, pois sofrem ionização em água, gerando uma solução condutora de corrente elétrica.
L41U9	As bases formam soluções eletrolíticas quando misturadas em água. As bases fortes são eletrólitos fortes (elevado grau de dissociação). As bases fracas, por terem baixa solubilidade em água e/ou baixo grau de ionização, apresentam também baixa condutibilidade elétrica. Algumas bases, como os hidróxidos alcalinos, são ótimos eletrólitos, quando fundidos. A fusão provoca a liberação dos íons porque o retículo cristalino se desfaz. Os íons livres tornam o meio um condutor de corrente elétrica.

Fonte: Autoria própria (2024).

As unidades analisadas neste estudo apresentam os conceitos de ácidos e bases em relação aos eletrólitos e soluções eletrolíticas, destacando a origem e o desenvolvimento desses conceitos ao longo do tempo. Essa abordagem é importante para os estudantes compreenderem que a ciência é um processo constante de construção do conhecimento. Como enfatizado por Lavoisier, um dos precursores da química moderna, "Na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma." Essa famosa frase de Lavoisier pode ser aplicada para ilustrar como os conceitos científicos se modificam e se transformam ao longo do tempo, refletindo uma visão dinâmica e progressiva da ciência.

Ainda, apontamos que o L1 não aborda, como também, não descreve outras teorias propostas, apenas a do químico do Svante Arrhenius, apresentando uma definição de ácido e base associado a eletrólitos, como pode ser visto na unidade L1U9, evidente no Quadro 5.

Quadro 5: Unidade pertencente a categoria Associação do conteúdo.

Unidade	Trecho
L1U9	Esses e outros modelos explicativos foram estudados pelo químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927), que, em 1887, apresentou uma teoria sobre soluções, considerando a dissolução das substâncias em água. De acordo com essa teoria,

	conhecida como teoria eletrolítica de Arrhenius, as partes que formam uma substância podem se separar em solução, conservando cargas elétricas opostas, ou seja, liberam-se íons em maior ou menor extensão. Ao aplicar um potencial elétrico, os íons se movem para os polos com cargas opostas. Há, porém, substâncias que não formam íons livres em solução, o que explica a diferença de comportamento entre elas em relação à condutividade elétrica.
--	--

Fonte: Autoria própria (2024)

Ademais, o L41 diferente do L1 não consta citações de pesquisadores referentes ao tema, entretanto entende-se que o conceito descrito no livro está relacionado a teoria da dissociação eletrolítica proposta por Arrhenius, evidente no Quadro 6.

Quadro 6: Unidades pertencentes a categoria Associação do conteúdo.

Unidade	Trecho
L41U1	Cada tipo de substância inorgânica reúne compostos com propriedades semelhantes. Certas propriedades dos ácidos são usadas para identificá-los, como as relacionadas a seguir.
L41U3	Os ácidos são eletrólitos, pois sofrem ionização em água, gerando uma solução condutora de corrente elétrica.
L41U9	As bases formam soluções eletrolíticas quando misturadas em água. As bases fortes são eletrólitos fortes (elevado grau de dissociação). As bases fracas, por terem baixa solubilidade em água e/ou baixo grau de ionização, apresentam também baixa condutibilidade elétrica. Algumas bases, como os hidróxidos alcalinos, são ótimos eletrólitos, quando fundidos. A fusão provoca a liberação dos íons porque o retículo cristalino se desfaz. Os íons livres tornam o meio um condutor de corrente elétrica.
L41U16	As substâncias que, quando dissolvidas em água, originam soluções condutoras de corrente elétrica são chamadas eletrólitos. As misturas formadas são denominadas soluções iônicas ou eletrolíticas. Os íons livres ou solvatados, isto é, cercados de moléculas de água, são responsáveis pela condutibilidade das soluções eletrolíticas. As soluções eletrolíticas conduzem bem a eletricidade por apresentarem íons. São formadas a partir de compostos iônicos, os quais sofreram dissociação iônica, ou a partir de compostos moleculares que reagem com a água produzindo íons. As soluções não eletrolíticas conduzem mal a eletricidade porque têm íons livres em concentração muito baixa.

Fonte: Autoria própria (2024).

Analisando esses dados, e compreendendo que as diferentes teorias propostas apresentam finalidades distintas, é possível evidenciar que a definição de Arrhenius concebe ácidos e bases como "entidades materiais", enquanto a proposta de Bronsted-Lowry está mais relacionada a um processo envolvendo a interação entre substâncias em meio aquoso, sendo mais abrangente que a de Arrhenius. Por outro lado, a teoria de Lewis engloba não apenas as reações que envolvem cátions H^+ , como nas outras

teorias, mas também outras formas de interação química (Paik, 2015). Contudo, diante desse panorama, é igualmente importante abordar outras teorias propostas. Os livros didáticos devem incluir não apenas uma única teoria de ácido e base, mas pelo menos as principais propostas, como as três citadas acima, dada a sua eficácia e importância para a compreensão desse conteúdo, especialmente por enfatizarem aspectos diferentes.

Visto que Arrhenius foi um dos pioneiros a introduzir o conceito de ácidos e bases na comunidade científica, foram conduzidos experimentos para validar essa definição do renomado químico sueco. Consequentemente, surgiram diversas teorias propostas simultaneamente para abordar as características e propriedades das moléculas ácidas ou básicas (Lima, 2020). Ao longo da análise realizada, observamos que os conceitos de ácidos e bases nos livros didáticos são descritos de acordo com as características das moléculas, conforme evidenciado pelos químicos. Para uma compreensão mais aprofundada desses trechos, criamos a categoria de Características Comportamentais de Ácidos e Bases.

3.1.3 Categoria 3 - Características Comportamentais

Esta categoria, derivada de diversos trechos dos livros didáticos que abordam ácidos e bases, destaca-se por diferenciá-los com base nas características e propriedades de substâncias, moléculas e soluções. Um total de 74 unidades estão classificadas nesta categoria, enfatizando a descrição do conceito de ácido e base, considerando suas características e propriedades distintivas. Isso inclui a atribuição de caráter ácido ou básico a cada molécula, a variação dos valores de pH, tabelas que indicam a força de acidez e basicidade, e as propriedades de diferentes soluções.

Segundo Lima e Moradillo (2019), esse tipo de definição de conceito pode ser classificado como uma característica comportamental, desta maneira, define os conceitos de ácido e base com um viés de diferenciação dos comportamentos, funcionalidades, bem como particularidades de diferentes moléculas ácidas e básicas. Nessa perspectiva, exemplos de unidades presentes aqui nesta categoria são: L2U15, L7U10, L5U5, L14U10 e L30U6, evidente no Quadro 7.

Quadro 7: Unidades pertencentes à categoria Características Comportamentais.

Unidade	Trecho
---------	--------

L7U10	As substâncias químicas têm comportamentos característicos que as classificam em diferentes tipos de função, como ácidos, bases, sais e óxidos, que foram (e ainda são) estudados amplamente por muitos cientistas, entre eles o químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927).
L2U15	As concentrações dos íons $H^+(aq)$ em soluções aquosas podem variar em muitas ordens de grandeza. Essas concentrações podem ser expressas em uma escala logarítmica conhecida como escala de pH (potencial hidrogeniônico). O pH de uma solução pode ser calculado pelo logaritmo negativo na base 10 da concentração dos íons $H^+(aq)$: $pH = -\log [H^+]$. Assim, o pH da água a 25 °C é: $pH = -\log (1,0 \times 10^{-7})$ $pH = (\log 1 + \log 10^{-7})$ $pH = 0 - (-7)$ $pH = 7$ O sinal negativo na expressão do cálculo do pH indica que, à medida que a concentração de íons $H^+(aq)$ em solução diminui, o valor de pH aumenta
L5U5	É importante lembrar, no entanto, que o caráter ácido-base é relativo, ou seja, uma substância que se comporta como um ácido em certa reação pode se comportar como uma base em outra. Por exemplo: o óxido de zinco (ZnO), assim como diversos óxidos de metais de transição, comporta-se como óxido básico quando reage com o ácido clorídrico (HCl), mas, na reação com o hidróxido de sódio ($NaOH$), comporta-se como óxido ácido. Por essa razão, o óxido de zinco é classificado como anfótero.
L14U10	As bases formadas por átomos de metais alcalinos (grupo 1) são bastante solúveis em água. As formadas por metais alcalino terrosos (grupo 2), com exceção do hidróxido de berílio ($Be(OH)_2$) e do hidróxido de magnésio ($Mg(OH)_2$), embora não sejam tão solúveis como as de metais alcalinos, apresentam razoável solubilidade em água. O hidróxido de berílio, o hidróxido de magnésio e os hidróxidos de metais que não sejam dos grupos 1 e 2 apresentam reduzida solubilidade em água. Independentemente do grau de solubilidade, todas elas dissociam-se ionicamente em água, liberando $OH^-(aq)$, o que caracteriza esses hidróxidos como bases de Arrhenius.
L16U20	Existem diversos fatores que podem influenciar a força de ácidos orgânicos e, neste item, vamos abordar um deles: a substituição de um átomo de hidrogênio próximo a um grupo funcional de caráter ácido por determinados átomos ou grupos de átomos

Fonte: Autoria própria (2024).

Destacamos que essas unidades enfatizam que moléculas/substâncias ácidas ou básicas tendem a diferentes características e propriedades, seja pela diferença de liberação de íons H^+/OH^- ; tamanho da estrutura; classificação periódica e grupo funcional. Tendo a opção de fornecer essas informações detalhadas, seria possível que os estudantes conseguissem visualizar e a partir disso que possam compreender melhor os conceitos, com a intenção de buscar facilitar a assimilação de conhecimentos essenciais sobre a química dos ácidos e bases.

Segundo os estudos de Lima e Moradillo (2019) e Dahlberg (1978, 2011), às unidades de ensino que abordam ácidos e bases frequentemente se concentram em explorar os comportamentos, propriedades e particularidades das moléculas, ao invés de se limitar a definições conceituais. Esta abordagem é criticada por não contribuir de forma significativa para a formação e construção do conhecimento dos estudantes, pois

não explica adequadamente por que certas moléculas apresentam caráter ácido ou básico, nem as razões pelas quais possuem determinadas propriedades. Para um ensino mais eficaz da química, é interessante proporcionar uma compreensão mais profunda e contextualizada das características e diferenciações das moléculas.

Percebemos que a partir das propriedades e características que podem ser discutidas a partir das diferentes substâncias, são importantes para a visualização e compreensão das teorias propostas por químicos. Essas teorias, quando definidas, enfatizam a discussão textual com argumentos, dados e justificativas, focando-se em poucas moléculas específicas ou utilizando reações generalizadas ($A + B \rightarrow C + D$) para esclarecer suas proposições (Arrhenius, 1912; Paik 2015; Kousathana et al., 2005; Santos 2021; Lima e Silva 2020). Demonstrar as características e propriedades de diversas moléculas pode contribuir significativamente para a compreensão dos conceitos de ácidos e bases e auxilia na distinção entre as teorias de Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis. Acreditamos que essa abordagem pode facilitar uma visualização mais clara e detalhada das teorias propostas por esses cientistas.

Porém, ao analisar as unidades desta categoria em 16 livros diferentes, observamos que todos eles incluem descrições dos conceitos de ácidos e bases em seus trechos. Essa abordagem isolada pode limitar a capacidade dos estudantes de distinguir entre substâncias ácidas e básicas. A definição dos conceitos unicamente aportados neste atributo pode não ser a estratégia mais eficaz para o ensino e a aprendizagem, pois não está totalmente alinhada com um referencial conceitual mais amplo. Esta categoria, aparentemente, não promove a compreensão de afirmações verdadeiras relacionadas a um item de referência, nem a um conjunto de enunciados verdadeiros sobre um objeto específico, de forma linguística.

É encorajador observar, no entanto, que os autores dos livros didáticos estão conscientes desta questão. Eles frequentemente adotam abordagens diversas na descrição dos conceitos de ácidos e bases, incluindo a contextualização histórica do conceito, sua associação com outros conceitos e sua aplicação prática. Essa diversidade de perspectivas oferecida aos estudantes pode enriquecer sua compreensão e promover uma aprendizagem mais completa.

Com base nas características e propriedades dos ácidos e bases, alguns livros didáticos empregam expressões matemáticas para distinguir e explicar essas características das moléculas ácidas e básicas. Com isso em mente, surgiu uma

categoria denominada "Pensamento Matemático" para aprofundar essas evidências provenientes da análise.

3.1.4 Categoria 4 - Pensamento matemático

Em relação a esta categoria, sua concepção visa caracterizar as unidades que descrevem o emprego do conceito de ácido e base em situações específicas. Portanto, essa categoria está relacionada ao momento em que ferramentas específicas são utilizadas para exemplificar, explicar e situar uma teoria que descreve o conceito de ácido e base, como por exemplo, o uso de expressões matemáticas. Segundo Gaston Bachelard (2005, p.7), essa relação busca "tornar geométrica a representação", ou seja, delinear os fenômenos e organizar em série os eventos significativos de uma experiência. Além disso, Bachelard destaca que tornar geométrica a representação busca estabelecer uma conexão entre o concreto e o abstrato. Para isso, as expressões matemáticas têm o potencial de servir como base para os dados empíricos relacionados aos conceitos de ácidos e bases.

Ao longo dos anos, diversos cientistas propuseram teorias de ácidos e bases com base em experimentos, sendo o empirismo por muito tempo o único método disponível para a comprovação desses fenômenos. Nesse contexto, as expressões matemáticas se tornaram ferramentas essenciais para conciliar o pensamento abstrato dos cientistas com a realidade concreta, unindo a ciência exata ao abstrato. Assim, a ciência da realidade não se contenta apenas com a descrição fenomenológica; ela busca entender o porquê matemático.

Nessa categoria, um total de 51 unidades foram classificadas e utilizam expressões matemáticas, técnicas analíticas, experimentação e outras ferramentas presentes nos livros didáticos para compreender os comportamentos de moléculas ácidas e básicas, além de definir os conceitos de ácido e base. Essas unidades permitem classificar, determinar, explicar e observar o comportamento de moléculas ou compostos nos fenômenos postulados por inúmeros pesquisadores, facilitando suas identificações. Os livros analisados presentes nessa categoria são: L1, L2, L8, L11, L14, L16, L20, L23, L29, L30, L33, L38 e L41, incluindo as unidades L2U26, L8U1, L14U11 e L16U15, que podem servir como base para exemplificar essa categoria.

Quadro 8: Unidades pertencentes à categoria Pensamento matemático.

Unidade	Trecho
---------	--------

L1U3	Em 1909, Soren P. T. Sorensen (1868-1939), bioquímico dinamarquês diretor dos laboratórios de pesquisa de uma cervejaria em Copenhague, estabeleceu uma maneira mais conveniente que a notação científica para expressar o nível de acidez de uma solução aquosa. Ele propôs utilizar o artifício matemático de tomar o logaritmo negativo da concentração de H^+ , representado pela sigla pH, o que permite obter valores positivos se a concentração for menos 1 mol.L^{-1} : $[H^+] = 10^{-pH}$ ou $pH = -\log [H^+]$
L2U26	Com base nessa relação, é possível determinar o valor da concentração de íons OH^- (aq) no equilíbrio, necessário para o cálculo do pH da solução salina. Para casos de sais formados por íons provenientes de ácido e base fracos, a expressão empregada para inferir o pH dessas soluções relaciona K_h , K_w , K_a e K_b $K_h = K_w / K_a \cdot K_b$ Assim, temos: • $K_a > K_b \rightarrow [H^+] > [OH^-] \rightarrow$ a solução é ácida. • $K_a < K_b \rightarrow [H^+] < [OH^-] \rightarrow$ a solução é básica. • $K_a = K_b \rightarrow [H^+] = [OH^-] \rightarrow$ a solução é neutra.
L16U22	A determinação do pH de soluções aquosas alcalinas (básicas) segue linhas gerais similares às apresentadas nesta página. Contudo, em vez de determinar a concentração de H_3O^+ , determinamos a concentração de OH^- proveniente da dissociação da base. Tendo o valor de $[OH^-]$, chegamos ao pOH e, considerando que a solução esteja a $25^\circ C$, concluímos qual é o valor de pH usando a relação $pH + pOH = 14$, válida para soluções aquosas nessa temperatura.
L33U11	Na escala de pH, substâncias que apresentam pH menor do que 7 são consideradas ácidas, e substâncias que apresentam pH maior do que 7 são consideradas básicas. Geralmente, a escala de pH não é usada para medir a acidez e a basicidade de soluções ácidas e básicas muito concentradas. Soluções fortemente ácidas apresentariam pH menor do que zero e soluções fortemente básicas apresentariam pH maior do que 14. Portanto, a escala de pH é, em geral, usada para soluções que apresentam valores de pH entre 0 e 14.

Fonte: Autoria própria (2024).

Observamos que essas unidades empregam os conceitos de ácidos e bases, especialmente os de Bronsted e Lowry, em expressões matemáticas para discutir as ideias representadas pelas teorias. Um exemplo notável é a expressão do pH, que visa determinar as concentrações de íons H^+ em solução, tanto em contextos de soluções aquosas quanto em reações químicas.

Entre as unidades examinadas nos livros didáticos, o L16 (Humanidade e Ambiente) se destaca por abordar amplamente os conceitos de ácido e base, empregando expressões matemáticas para compreender os comportamentos dessas moléculas e suas particularidades. Além disso, esse livro explora diferentes eventos e fenômenos cotidianos relacionados a esses conceitos. Em particular, foram identificadas 10 unidades que estabelecem uma relação direta entre a definição dos conceitos de ácidos e bases e essa abordagem de pensamento matemático.

Em nossa perspectiva, a utilização dessa abordagem para descrever os conceitos de ácido e base se demonstra eficaz e importante, alinhando-se ao referencial estabelecido para as discussões dessa categoria. Isso porque contribui para

estabelecer uma ponte entre o concreto e o abstrato, resultando em uma maior clareza nas ideias e teorias propostas sobre o tema (Bachelard, 2005).

No entanto, é importante observar que, seguindo a lógica da categoria anterior, a “Pensamento Matemático” por si só não é suficiente para apresentar de forma completa o conceito de ácido e base. Isso se deve ao fato de que não aborda a compreensão de afirmações verdadeiras relacionadas a um item de referência. Os conceitos da Química, incluindo os de ácidos e bases, frequentemente têm origem em processos experimentais. Nesse contexto, para formalizar e comunicar suas teorias, os cientistas adotam representações, como símbolos, que são utilizados tanto em expressões matemáticas quanto em reações químicas. Esses símbolos desempenham um papel importante ao evidenciar as proposições dos experimentos subjacentes às teorias desenvolvidas por esses cientistas (Greszczyszyn, 2017; Cedran, Kiouranis e Cedran, 2018).

Nos livros didáticos analisados neste estudo, observamos a presença de descrições de símbolos, os quais têm como objetivo esclarecer determinados aspectos das teorias discutidas nos trechos dos livros. Com base nisso, estabelecemos uma categoria “Simbolismo” na qual exploraremos e discutiremos as percepções que deram origem a essa prática.

3.1.5 Categoria 5 - Simbolismo

Com um olhar histórico, de acordo com Berzelius (1814, p. 51)

Os símbolos químicos deveriam ser letras, para maior facilidade de escrever, e não desfigurar um livro impresso. Embora esta última circunstância possa não parecer de grande importância, deve ser evitada sempre que possível. Tomarei, portanto, o sinal químico, a letra inicial do nome latino de cada substância elementar.

A compreensão dos signos na química é fundamental para aprofundar o entendimento desta disciplina. Ao referir-se a qualquer conceito químico, é preponderante possuir uma certa familiaridade com essa linguagem simbólica. De fato, quando pensando no triângulo de Johnstone (1982), percebemos que o domínio da simbologia química é essencial para a compreensão da ciência, uma vez que é indispensável para assimilar os conceitos químicos na atualidade. Esta representação simbólica abrange a atribuição de símbolos para a expressão de entidades como átomos e moléculas, bem como a utilização de sinais para denotar cargas elétricas, letras para indicar o estado físico da matéria e convenções para representar equações químicas, incluindo os coeficientes usados para balanceá-las. Sob esta perspectiva, a

simbologia tem o potencial de elucidar fenômenos observáveis das teorias propostas no âmbito molecular (Cedran, Kiouranis e Cedran, 2018).

Seguindo essa linha de raciocínio, 55 unidades apresentam em seus trechos o uso de representações simbólicas para contribuir com a compreensão dos conceitos de ácidos e bases. De forma geral, salientamos que as representações simbólicas propostas por Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis em suas respectivas teorias servem para evidenciar suas diferenças. No quadro a seguir, são destacadas as simbologias utilizadas por esses cientistas e suas distinções, expressas por meio desses símbolos.

Quadro 2: Simbologia utilizadas para cada teoria de ácido e base

Cientistas	Simbologia	Teoria
Svante Arrhenius	cátions H^+ e ânions OH^-	Conceituados isoladamente, pois o que define cada um ácido ou uma base é sua estrutura química
Bronsted-Lowry	próton H^+	Ácido e uma base são definidos em função do processo de transferência de prótons.
Gilbert Lewis		Propôs que apresentam caráter ácido as espécies químicas que recebem um par de elétrons na reação e caráter básico as que doam o par de elétrons.

Fonte: Autores

Nesse contexto, as unidades L23U13, L29U11, L38U13 e L41U6 destacam-se por apresentarem diversas simbologias que contribuem significativamente para a compreensão dos conceitos descritos nos livros didáticos.

Analogamente ao pH, podemos definir o pOH de uma solução por:

$$pOH = -\log [OH^-]$$

Então, na água "pura", a 25 °C, temos:

$$pH = pOH = 7$$

Em Química, quando o **p** minúsculo antecipa um símbolo, ele designa o logaritmo negativo. Por isso, podemos também dizer que o **pK_w** da água, a 25 °C, é 14.

Caixa de ferramentas

Lembre-se:

$$\log a \cdot b = \log a + \log b$$

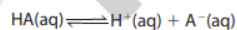
$$\log a^x = x \log a$$

$$\log \frac{a}{b} = \log a - \log b$$

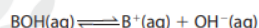
L23U13

As soluções que apresentam íons livres, sejam eles produto da ionização ou da dissociação iônica do soluto, têm seus equilíbrios denominados **equilíbrios iônicos**.

Considere duas soluções aquosas em equilíbrio químico, sendo uma delas um ácido genérico HA(aq) que se ioniza, enquanto a outra é uma base genérica BOH(aq) que se dissocia. As reações de ionização e dissociação e suas respectivas constantes de equilíbrio são representadas por:



$$K_a = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$



$$K_b = \frac{[\text{B}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{BOH}]}$$

Assim como em K_c , os valores de K_a e K_b também variam com a temperatura.

Quando os valores numéricos de K_a e K_b são altos, o numerador da fração é muito maior do que o denominador. Podemos concluir, então, que a dissociação ou ionização também é alta. De modo análogo, quando os valores numéricos de K_a e K_b são baixos, o numerador da fração é muito menor do que o denominador, e concluímos que a dissociação ou ionização é baixa.

L29U11

DETERMINAÇÃO DO PH

Os valores de $[\text{H}^+]$ e $[\text{OH}^-]$ das soluções aquosas variam normalmente em uma extensa faixa de números com expoentes negativos. O vinagre, a água e o sangue, por exemplo, têm $[\text{H}^+]$ de aproximadamente $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ e $4,0 \cdot 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente.

Em 1909, o químico dinamarquês Søren Sørensen (1868-1939) propôs a transformação desses valores em uma escala mais fácil de ser trabalhada por meio do uso de logaritmos: a escala de **pH**. A letra **p**, minúscula, refere-se a **potencial** (ou potência), e a letra **H**, maiúscula, quer dizer **hidrogeniônico**.

O pH de uma solução é definido como:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \Rightarrow [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}, \text{ em } \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

De forma semelhante, define-se o pOH (potencial hidroxiliônico) como:

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] \Rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}}, \text{ em } \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

L38U12

Força dos ácidos

Por meio da medida da condutibilidade elétrica das soluções, é possível verificar a extensão da ionização dos ácidos e classificá-los de acordo com seu **grau de ionização (α)**, que indica a porcentagem de moléculas que ionizam em relação ao total de moléculas dissolvidas.

$$\alpha = \frac{\text{número de moléculas ionizadas}}{\text{número de moléculas dissolvidas}}$$

Não escreva no livro.

As unidades mencionadas acima incorporam símbolos em expressões matemáticas, os quais são empregados para problematizar os fenômenos observáveis das teorias propostas no contexto molecular. Ao analisar as unidades resultantes da análise, observamos que 14 dos livros examinados apresentam ao menos um trecho descrevendo representações simbólicas para complementar as definições dos conceitos de ácidos e bases propostos pelos três principais cientistas nesta área.

Ademais, destacamos que o Livro 2 é o que mais aprofunda a definição dos conceitos de ácido e base em diferentes níveis de profundidade, abrangendo 18 unidades. Sob essa perspectiva, acreditamos que definir os conceitos de ácidos e bases com essa abordagem é de grande valia para o ensino e aprendizado dos alunos. Isso porque possibilita aos estudantes reconhecerem que a química não está limitada a um ensino puramente abstrato, mas pode ser visualizada e compreendida através dessas representações simbólicas.

3.2. Discussões e relações

Analisando as categorias 3 e 4, observamos que, isoladamente, elas não conseguem fornecer uma definição abrangente e completa dos conceitos de ácidos e bases. Com base nesse entendimento e conforme ilustrado na figura 2, notamos que os livros didáticos oferecem diversas abordagens e enfoques na definição desses conceitos. Por exemplo, os livros L23, L33 e L41 abordam o conceito de ácido e base utilizando uma variedade de categorias, incluindo Abordagem Histórica (categoria 1), Associação do Conceito (categoria 2), Características Comportamentais (categoria 3), Pensamento Matemático (categoria 4) e Simbolismo (categoria 5). Essa diversidade de abordagens adotadas pelos autores dos livros didáticos visa favorecer uma compreensão mais ampla e completa dos alunos em relação a esse conteúdo nos níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico.

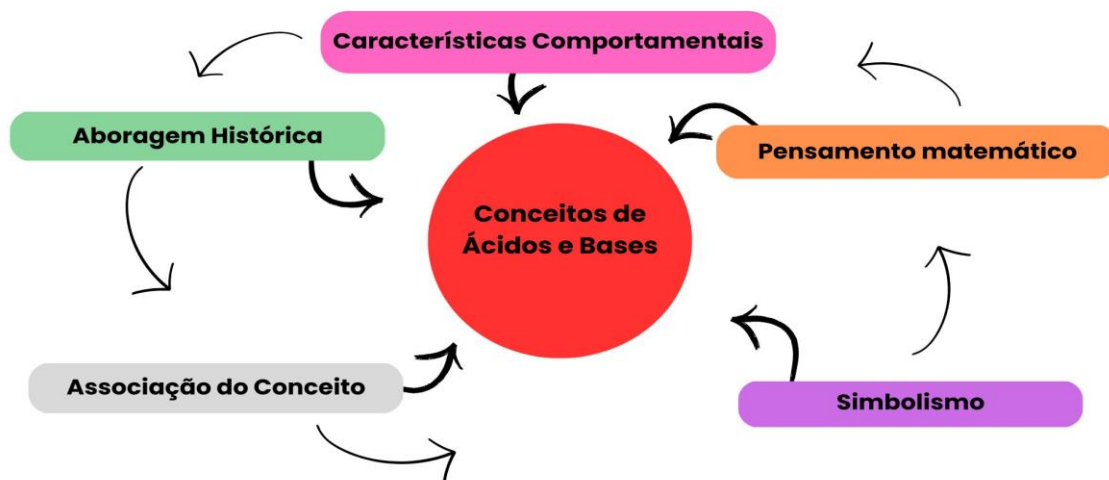
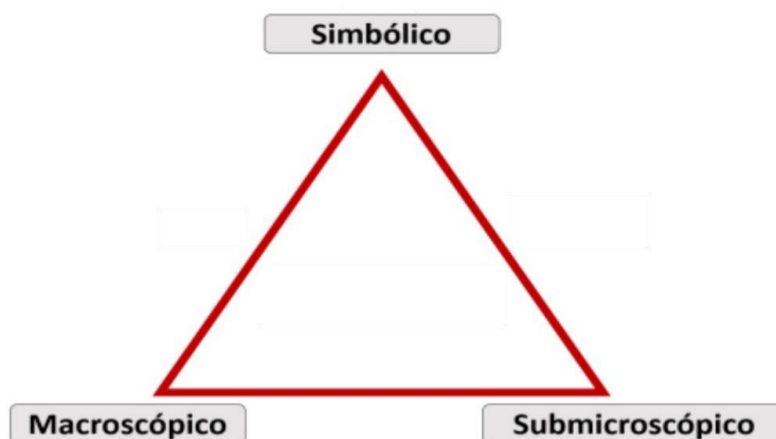


Figura 2: Relações possíveis entre as categorias

Fonte: Autoria própria (2024)

Para propor esse pensamento, nos baseamos nos referencial de Johnstone (1982), de modo, descreve que a Química pode ser construída mediante três aspectos: *macroscópico*, *submicroscópico* e *simbólico*. É evidente que há representações de ácidos e bases para haver diferentes maneiras de discutir este tópico, desse modo, vamos discutir e apontar as relações das contribuições das representações do triângulo de Johnstone, destacado na Figura 3.

Figura 3: Triângulo de Johnstone adaptado.



Fonte: Rodrigues et al., 2023.

Conforme percebemos nas categorias emergidas, muitos LD focalizam uma determinada abordagem para descrever os conceitos de ácidos e bases, felizmente os autores consideram que somente uma abordagem não é suficiente para a

compreensão desse tema, desta forma, descreve os conceitos com diferentes de níveis de conhecimento, na qual contribuem para um melhor aprendizado dos estudantes.

É perceptível que diferentes representações de ácidos e bases oferecem uma variedade de abordagens para explorar esse tópico, o que é importante em um LD, dada sua utilização em diversos contextos, escolas e por estudantes com diferentes estilos de aprendizagem.

Assim, discutiremos e destacaremos as contribuições das representações do triângulo de Johnstone (1982). Conforme observado nas categorias identificadas, muitos livros didáticos concentram-se em diferentes abordagens para descrever os conceitos de ácidos e bases. Os autores reconhecem que uma única abordagem não é suficiente para a compreensão desse tema. Portanto, eles apresentam os conceitos com diferentes níveis de profundidade, o que contribui para uma aprendizagem mais eficaz por parte dos estudantes.

Diante das categorias, observamos que cada uma descreve os conceitos de ácidos e bases de maneira semelhante aos níveis de conhecimento propostos por Johnstone (1982), permitindo assim uma classificação e diferenciação de suas abordagens. Nos parágrafos seguintes, ao interpretarmos essas categorias, iremos demonstrar em quais níveis cada uma delas pode ser enquadrada, além de evidenciar em quais níveis os diferentes livros didáticos analisados se encontram.

3.2.1 Submicroscópico

Neste nível, as categorias 1 e 2 estão presentes, pois suas descrições dos conceitos de ácidos e bases seguem uma linha mais abstrata da Química. Esse nível molecular é utilizado para explicar as teorias propostas pelos cientistas, buscando um entendimento daquilo que não podemos ver a olho nu. Parte-se de uma compreensão racional para explicar qualitativamente os fenômenos que envolvem partículas, átomos, moléculas e íons. (Gilbert e Treagust, 2009). Destacamos que somente os L8 e L11 não utilizam essas abordagens para descrever os conceitos de ácidos e bases.

O nível submicroscópico engloba átomos e partículas subatômicas, enfatizando a compreensão do comportamento da matéria, como o movimento dos elétrons, interações, e a caracterização de materiais visíveis. Este nível exige dos alunos um pensamento mais elaborado e crítico, contribuindo para o desenvolvimento do pensamento científico (Johnstone, 2000). Representações de partículas submicroscópicas são ferramentas para a compreensão e explicação de fenômenos e situações (Sangiogo, 2014).

No contexto dos conceitos de ácidos e bases, o nível submicroscópico é fundamental para o entendimento desse tema, cujas definições muitas vezes se baseiam em experimentos. Os livros analisados utilizam este nível de maneira consistente para argumentar e justificar as teorias propostas por renomados cientistas, destacando aspectos moleculares que envolvem partículas, átomos e moléculas. Dessa forma, esse nível é uma ferramenta primordial no processo educacional, auxiliando no ensino e aprendizado de estudantes e professores.

3.2.2. Simbólico

Este nível de conhecimento mobiliza uma articulação entre o concreto e o abstrato, visto que o nível simbólico desempenha um papel mediador no desenvolvimento do pensamento humano (Antunes-Souza e Aleme, 2023). Em outras palavras, ele é essencial para o aprendizado dos alunos em relação aos conceitos de Química. Símbolos químicos, fórmulas, desenhos de partículas, equações matemáticas, gráficos e simulações são usados para visualizar os componentes representacionais de modelos teóricos.

Ao analisar os livros didáticos (LD) e a formação das categorias, observamos que as categorias 4 e 5 estão inseridas neste vértice do triângulo devido aos trechos que descrevem os conceitos de ácidos e bases por meio de um nível simbólico. Isso inclui representações de expressões matemáticas, sinais para exibição de cargas elétricas e convenções para representar equações químicas e seus coeficientes.

Em relação aos livros analisados, todos abordam os conceitos de ácidos e bases de alguma forma utilizando o nível simbólico. Isso evidencia que os autores consideram essa representação fundamental para o desenvolvimento do aprendizado dos estudantes referente a este tema.

A utilização do nível simbólico é fundamental para a compreensão e significação das representações dos conceitos da Química, considerando as estruturas simbólicas. Ao ensinar Química, é importante utilizar este vértice proposto por Johnstone (Kiouranis, Batiston e Da Silva, 2012). A simbologia química traduz os fenômenos subatômicos (experimentos) realizados pelos cientistas, mediando a compreensão dos conceitos teóricos e experimentais. Ela serve como um instrumento constitutivo na articulação entre o concreto e o abstrato, podendo atuar como uma linguagem que desenvolve o pensamento dos estudantes, possibilitando novas interpretações dos significados descritos pelo nível simbólico (Antunes-Souza e Aleme, 2009). Segundo

esses autores, a falta de utilização e explicação desse nível de conhecimento cria um vazio de significado no sistema simbólico da Química.

Para os conceitos de ácidos e bases, assim como o nível submicroscópico e simbólico também é importante para a compreensão desses conceitos. Ele é útil para explicar fenômenos observáveis das teorias propostas nas dimensões molecular e além do nível palpável. Esta abordagem agrega valor ao ensino dos estudantes, permitindo que eles reconheçam e percebam que a Química não se limita a um ensino abstrato. A simbologia tem o potencial de facilitar essa percepção, pois o ensino de Química sem a devida explicação dos símbolos pode dificultar a compreensão dos conceitos químicos (Cedran, Kiouranis, Cedran, 2018).

3.2.3. Macroscópico

O nível macroscópico relaciona-se com a descrição de situações empíricas (experimentos e outros instrumentos) que visam uma discussão em um nível visível e palpável. Esse nível incentiva um processo de significação conceitual, permitindo a identificação do modelo teórico descrito e promovendo o pensamento através de experimentações que evidenciam teorias propostas por renomados cientistas. Além disso, ele aborda fenômenos naturais encontrados no cotidiano dos seres humanos (Rodrigues, da Silva, Pastoriza, Sangiogo, Soares e da Silva, 2022).

Foi possível perceber esse nível de conhecimento apenas na categoria 3, que retrata as características comportamentais dos ácidos e bases, evidenciando essa diferenciação através da realização de experimentos (nível macroscópico). Dos 16 livros analisados, apenas 4 não contêm o nível macroscópico. Por outro lado, os LD que apresentam esse nível o abordam de forma muito visível e palpável, contribuindo significativamente para a compreensão dos estudantes e a visualização dos conceitos de ácidos e bases em seus cotidianos.

Em relação ao nível macroscópico, seus fenômenos constituem o aspecto palpável da Química, caracterizado por evidenciar transformações da matéria, como mudanças de cor, formação de precipitados e liberação de gases (Celestino, 2021). Segundo Celestino, o nível macroscópico é aquele em que os fenômenos químicos são observáveis e podem incluir experiências do cotidiano dos estudantes, resultando em uma melhor aprendizagem e compreensão das teorias propostas pelos cientistas.

Esse nível de conhecimento, conforme proposto por Johnstone (1982), deve abordar os fenômenos observados por meio das possibilidades geradas pelas interações ou mudanças nas condições que façam sentido para os estudantes, com o

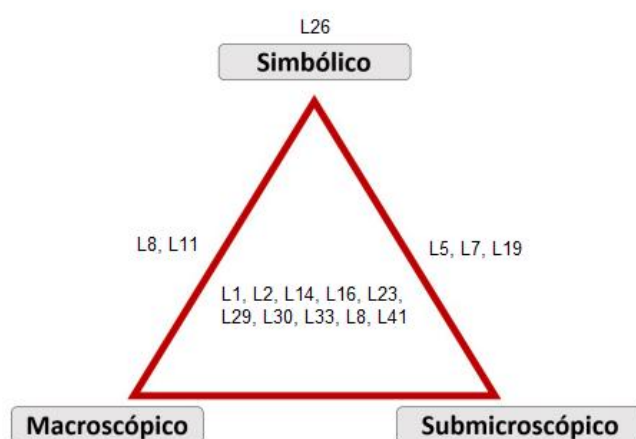
intuito de estabelecer uma comunicação entre os conceitos químicos e o conhecimento prévio dos estudantes. Isso aproxima a Química de uma forma mais acessível e compreensível, criando uma dinâmica constante de transformações (dinâmica microscópica) que tem o potencial de incluir experiências cotidianas nas aulas (Wartha e de Guzzi Filho, 2012).

O aspecto macroscópico para o ensino de ácidos e bases, assim como os outros níveis, contribui significativamente para que os estudantes identifiquem e diferenciam substâncias e moléculas ácidas de substâncias e moléculas básicas. Isso ocorre por meio de diversos experimentos, como a titulação ácido-base, e de fenômenos observáveis e palpáveis, que ajudam os estudantes a compreenderem as teorias propostas sobre este tema. O nível macroscópico descreve fenômenos químicos observáveis e pode incluir aspectos dos conceitos de ácidos e bases nas experiências cotidianas dos alunos, permitindo que eles vejam a Química além da sala de aula.

3.2.4 Compreensão no trabalho

Baseado em Johnstone (1982), entendemos que esses níveis se interligam e contribuem para a compreensão da Química por meio dessas representações. Na figura abaixo, identificamos quais níveis de conhecimento estão presentes em cada livro didático analisado.

Figura 4: Triângulo de Johnstone adaptado.



Fonte: Rodrigues et al., 2023.

Nesta figura, destacamos que a maioria dos livros utiliza esses três níveis para conceituar ácidos e bases. Isso enfatiza que os estudantes possam visualizar esses conceitos por meio das teorias propostas por diferentes cientistas, da simbologia

utilizada, das expressões e equações químicas que concretizam as teorias, bem como perceber esses conceitos de forma palpável em seus cotidianos. Conforme indicado na imagem, os livros analisados L8 e L11 adotam uma abordagem que utiliza os níveis macroscópico e simbólico para explicar os conceitos de ácidos e bases. Em contrapartida, L5, L7 e L19 optam por explorar os níveis simbólico e submicroscópico para descrever esses conceitos.

Seguindo essa perspectiva do triângulo de Johnstone, é importante destacar que os fenômenos macroscópicos, as representações simbólicas e submicroscópicas são utilizados como base para explicar fenômenos químicos (Wartha e de Guzzi Filho, 2012). Essa proposta de Johnstone (1982) visa interligar todos os vértices, onde cada nível contribui para o ensino e aprendizado. O nível simbólico funciona como uma ponte que correlaciona o nível macroscópico com o nível submicroscópico, sendo uma metodologia eficaz para promover uma melhor compreensão da Química (Taber, 2015).

Para o estudo de ácidos e bases, que abrange os níveis macroscópico (produtos utilizados no cotidiano), submicroscópico (comportamento e interação de moléculas e átomos), e simbólico (equações químicas), a perspectiva de Johnstone proporciona um entendimento aprofundado para os estudantes. Essa abordagem contribui para a compreensão desses conceitos e permite que os estudantes reconheçam sua aplicação em materiais e produtos presentes em seus cotidianos.

4. Considerações Finais

As teorias sobre ácidos e bases apresentadas nos livros analisados destacam a teoria de Svante Arrhenius como a abordagem principal para esse conteúdo. Em obras como L7, L2, L30 e L33, essa teoria é introduzida em primeiro lugar e é a mais comum entre os diferentes livros didáticos. Isso reflete a percepção dos autores sobre a adequação desta teoria ao tema específico abordado em cada livro, sugerindo que outras teorias não são consideradas relevantes para a proposta específica de cada obra.

A análise dos livros didáticos do PNLD de 2021 e a categorização das unidades revelaram que os livros descrevem o conceito de ácido e base com diferentes ênfases, passando pelos três níveis da Química: simbólico, macroscópico e submicroscópico. Os autores demonstram a importância do contexto histórico ao descrever as teorias de pesquisadores como Robert Boyle, Lavoisier e Vicente Coelho de Seabra Silva Telles, além das teorias de Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis.

Foi perceptível que poucos livros ofereceram uma descrição abrangente do conceito de ácido e base, abordando questões como pH, as principais teorias, a contextualização com o cotidiano dos alunos, as constantes de acidez e basicidade, e as soluções tampão. Com as mudanças no Ensino Médio, que integrou os livros de Química com Biologia e Física na área de Ciências da Natureza, houve uma organização dos conteúdos por assuntos, o que resultou em recortes em alguns temas para atender ao foco específico de cada obra.

Após completarmos essa análise e nossas discussões, reconhecemos a relevância deste estudo para uma compreensão mais ampla de como os conceitos de ácidos e bases estão sendo transmitidos nos livros didáticos. Além disso, evidenciamos argumentos que justificam a necessidade de relacionar esses conceitos ao cotidiano dos estudantes. Observamos que os autores estão adaptando as teorias de ácidos e bases para torná-las mais acessíveis, ao mesmo tempo em que aprofundam as discussões em níveis submicroscópico, macroscópico e simbólico relacionados a essas teorias. Deste modo, com este estudo espera-se alcançar os professores da Educação Básica, oferecendo-lhes a oportunidade de desenvolver um olhar mais crítico sobre as alternativas disponíveis para abordar, discutir e apresentar os conceitos de ácidos e bases nos materiais didáticos.

5. Referências

- ANDRADE, João Carlos de. Química analítica básica: os conceitos ácido-base e a escala de pH. *Revista Chemkeys*, Campinas, n. 1, p. 1 – 6, 2018.
- ARRHENIUS, Svante. Electrolytic Dissocation. **Journal Of The American Chemical Society**, v. 34, n. 4, p. 353-364, 10 fev. 1912.
- BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. Tradução: Luís A. Reto e Augusto Pinheiro. 70. ed. Lisboa: Edições, 1977. p. 229.
- ANTUNES-SOUZA, Thiago; ALEME, Helga Gabriele. Reinterpretando o triângulo de Johnstone: o papel constitutivo da linguagem e suas contribuições para a experimentação no ensino de Química: Reinterpreting Johnstone's triangle: the constitutive role of language and its contributions to experimentation in Chemistry teaching. **Revista Cocar**, v. 19, n. 37, 2023.
- CHAGAS, Aécio Pereira. Teorias ácido-base do século XX. **Química nova na escola**, v. 9, p. 28-30, 1999.

CEDRAN, Débora Piai; CEDRAN, Jaime Costa; KIOURANIS, Neide Maria Michellan. A importância da simbologia no ensino de Química e suas correlações com os aspectos macroscópicos e moleculares. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 9, n. 4, p. 38-57, 2018.

CELESTINO, José Marcos Lopes. **Análise de aspectos da contextualização, do nível macroscópico, submicroscópico e simbólico em textos sobre "Cinética Química" de livros de Química Geral do ensino superior**. 2021. 148f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

CHOPPIN, Alain. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Revista Educação e Pesquisa**, v.30, n.3, p. 549-566, set./dez. 2004. Tradução de Maria Adriana C. Cappello.

DAHLBERG, Ingetraut. Teoria do Conceito. **Ciência da Informação**, v. 7, n. 2, p. 101-107, dez. 1978.

DAHLBERG, Ingetraut. Brief Communication: How to improve ISKO's standing: Ten desiderata for knowledge organization. **KO KNOWLEDGE ORGANIZATION**, v. 38, n. 1, p. 68-74, 2011.

DA SILVA, Vitória Schiavon. **Trajetória e construção do conceito de Ligações Químicas de Gilbert Lewis: uma discussão a partir da Epistemologia e do Ensino de Química**. 2022. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

FERNANDES, Maria Angélica Moreira; PORTO, Paulo Alves. Investigando a presença da história da Ciência em livros didáticos de Química. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 420-429, jul. 2011.

FIGUEIRA, Angela Carine Moura. **Investigando as concepções dos estudantes do ensino fundamental ao superior sobre ácidos e bases**. 2010. 77 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Química, Centro de Ciências Naturais e Exatas Programa de Pós Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

FREITAS, Maria Teresa de Assunção. A abordagem sócio-histórica como orientadora da pesquisa qualitativa. **Cadernos de Pesquisa**, v. 1, n. 116, p. 21-39, jul. 2002.

FRISON, Marli Dallagnol; VIANNA, Jaqueline; CHAVES, Jéssica Mello; BERNADI, Fernanda Naimann. Livro didático como instrumento de apoio para construção de proposta de ensino de Ciências Naturais. **Encontro Nacional de Pesquisa em Ciências**, v. 7, p. 1-13, 2009.

GILBERT, John K.; TREAGUST, David F.. Introduction: macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them. **Models And Modeling In Science Education**, [S.L.], p. 1-8, 2009. Springer Netherlands.

JOHNSTONE, Alex. Macro and microchemistry. **School Science Review**, v. 64, n. 227, p. 377-379, 1982. 26 fev. 2024.

JOHNSTONE, Alex H. Teaching of chemistry – logical or psychological? **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 1 n. 1, p. 9-15, 2000.

KIOURANIS, Neide Maria Michellan; BATISTON, Weliton Pedro; DA SILVA, Camila Fontes Neves. **Compreensão da linguagem química simbólica por alunos de ensino médio. Em: XVI Encontro Nacional de Ensino de Química**, 2012. Anais do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2012.

KOUSATHANA, Margarita; DEMEROUTI, Margarita; TSAPARLIS, Geoegios. Instructional Misconceptions in Acid-Base Equilibria: An Analysis from a History and Philosophy of Science Perspective. **Science & Education**, v. 14, p. 173-193, 2005.

LIMA, Cintia Maria Carneiro Franco; SILVA, José Luis de Paulo Barros. Contribuições do Desenvolvimento Histórico-Cultural dos Conceitos de Ácido e de Base para o Ensino de Química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 20, n. 1, p. 157-191, 10 jan. 2020.

LIMA, Claudiane; MORADILLO, Edilson de. Ácidos e Bases nos Livros Didáticos: Ainda Duas das Quatro Funções da Química Inorgânica? **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 3, p. 242-247, 08 ago. 2019.

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**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

NUNES, Albino Oliveira; DANTAS, Josivânia Marisa; OLIVEIRA, Anselmo de; HUSSEIN, Fabiana Roberta Gonçalves e Silva. Revisão no Campo: O Processo de Ensino-Aprendizagem dos Conceitos Ácido e Base entre 1980 e 2014. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 2, p. 185-196, fev. 2016.

PAIK, Seoung-Hey. Understanding the relationship among Arrhenius, Bronsted–Lowry, and Lewis theories. **Journal of chemical education**, v. 92, n. 9, p. 1484-1489, 2015.

RODRIGUES, Tavane; DA SILVA, Fernanda Karolaine; PASTORIZA, Bruno; Sangiogo, Fábio; SOARES, Alessandro; DA SILVA, Vitoria. Análise sobre as formas de apresentação do conhecimento químico: o conceito de ligações químicas em livros didáticos. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 44, p. 428-438, 12 set. 2022..

SANTOS, Guilherme Brahm dos; BARDINI, Laura da Silva; PASTORIZA, Bruno dos Santos. Evidenciando discussões fundamentais no ensino de Química: O caso das ligações química. In: **Anais do 20º Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ Pernambuco)**. Anais...Recife(PE) UFRPE/UFPE, 2020.

SANTOS, Laíce Cristina da Silva. **ÁCIDOS E BASES: CONSTRUÇÃO DO CONCEITO E APRESENTAÇÃO NOS LIVROS DIDÁTICOS**. 2021. 20 f. TCC (Doutorado) - Curso

de Licenciatura em Química, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2021.

SANGIOGO, Fábio André. **A elaboração conceitual sobre representações de partículas submicroscópica em aulas de Química da educação básica: Aspectos pedagógicos e epistemológicos**. 2014. 291 f. Tese - Curso de Química, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SOUZA, Cristina; SILVA, F. Discutindo o contexto das definições de ácido e base. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 14-18, 18 fev. 2017.

TABER, Keith. Conceptual confusion in the chemistry curriculum: exemplifying the problematic nature of representing chemical concepts as target knowledge. **Foundations Of Chemistry**, v. 22, n. 2, p. 309-334, 26 set. 2019. Springer Science and Business Media LLC.

TABER, K. Exploring the language(s) of chemistry education. *Chemical Education Research and Practice*, v. 16, p. 193 – 197, 2015.

VASCONCELLOS, Celso dos Santos **Construção do conhecimento em sala de aula**. São Paulo: Libertad, 1993.

WARTHA, Edson José; GUZZI FILHO, Neurivaldo José de; DE JESUS, Raildo Mota. O experimento da gota salina e os níveis de representação em química. **Educación química**, v. 23, n. 1, p. 55-61, 2012.

5.2. Artigo 3:

Investigando conceitos fundamentais: Ácidos e Bases nos livros didáticos do Ensino Superior

Resumo:

Este estudo analisa a abordagem dos conceitos de ácidos e bases em livros didáticos (LD) de Química do Ensino Superior, adotados na Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Mediante análise de conteúdo, foram examinados 11 LD mais retirados na Biblioteca do Campus Capão do Leão. Identificaram-se quatro categorias temáticas: Abordagem Histórica, Definição do Conceito, Aplicação do Conceito, e Características e Propriedades. Os resultados demonstraram que os LD priorizam rigor conceitual e formalismo matemático, mas negligenciam conexões com aplicações cotidianas, problematizações socioambientais e nuances históricas. É possível analisar que, embora os livros tragam os fundamentos teóricos, as obras analisadas limitam-se a uma abordagem técnico-positivista, subutilizando o potencial crítico e interdisciplinar do tema.

1. Introdução

Esta pesquisa faz parte de um estudo mais amplo que visa investigar os conceitos fundamentais propostos ao Ensino da Química. Isso será realizado por meio da análise de livros didáticos amplamente utilizados no ensino superior, especificamente na área de Ensino de Química/Ciências. Segundo Taber (2019), a área da Química é altamente conceitual, caracterizada por uma alta densidade de ideias abstratas, necessitando de explicações de um domínio invisível e submicroscópico de entidades desconhecidas. Neste contexto, nosso estudo busca estudar os conceitos de Ácidos e Bases atribuídos por livros didáticos do campo do Ensino Superior em Química.

Pensando a Química como campo de conhecimento, ela possui a capacidade, bem como a potencialidade, de expandir a concepção da natureza, e suas transformações, contribuindo com a possibilidade de compreender as relações das construções científicas, tecnológicas e suas implicações dentro de uma sociedade (Zanotto et al., 2016). Visto isso, compreende-se que o conhecimento químico pode ser uma ferramenta para que o cidadão consiga agir frente a numerosos contextos em que há a possibilidade de relacionar com os conceitos químicos, ou seja, em praticamente em todo contexto é viável a utilização deste conhecimento (Zanotto et al., 2016).

Portanto, segundo Lima et al. (2011) e Hardy-Vallée (2013), os conceitos são ferramentas que podem ser úteis para pensarmos o mundo e a nós mesmos. Eles são essenciais para atuarmos no mundo, interagimos com ele e com os outros e representam uma atividade criadora que pode permitir inventar novas maneiras de pensar, ver e compreender o incompreensível. Diante disso, os conceitos químicos possuem uma potencialidade para a compreensão de pensamento sobre o que acontece no mundo. Mais especificamente, os conceitos de ácidos e base são conceitos antigos cuja origem parte de séculos atrás, mas que se modificaram ao longo dos anos (Nunes; Dantas; Oliveira, e Hussein, 2016). Atualmente, reconhece-se que Svante Arrhenius, Johannes Bronsted e Thomas Lowry e de Gilbert Lewis como os principais químicos referenciados para abordar sobre o conteúdo de ácido e base (SANTOS, 2021). Entende-se que o conhecimento sobre este conteúdo é de relevante para estabelecer relações conceituais da química, além disso, é possível destacar a relevância desse dos Ácidos e bases em outras áreas de conhecimento, como a biologia, na qual grande parte das reações que acontecem no organismo humano apresentam características de reações ácido-base (Lima, et al. 2015).

Desse modo, em livros didáticos (LD) utilizados na Educação Básica e no Ensino Superior, é comum dedicar um capítulo separado para abordar os conceitos relacionados a ácidos e bases. De acordo com Fernandes e Porto (2011) é válido ressaltar que os LD são importantes ferramentas no processo educacional, em algumas situações é o principal veículo para a construção do conhecimento. Embora por vezes não sendo muito utilizado por professores e alunos, é nesse material que muitos professores se baseiam sobre o que ensinar e como ensinar (Lopes et al., 1993). Dada a importância da Ciência Química e o papel que os LD desempenham tanto para professores quanto para alunos, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sobre como os conceitos de Ácidos e Bases são descritos nos livros didáticos de Química do Ensino Superior mais procurados na Biblioteca Campus Capão do Leão (BCCL) da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI).

2. Metodologia

Para o desenvolvimento de análise destes LD neste trabalho, foi realizada a análise de conteúdo de Bardin (1977), que nesta metodologia compreende três momentos para a análise de documentos: pré-análise, exploração do material e tratamento dos

resultados. A pré-análise é a fase que envolve a organização do documento, enquanto a exploração do material é o momento de codificação e unitarização dos trechos analisados nos LD. Para este trabalho, iniciamos a partir de um primeiro contato a BCCL, então solicitamos uma relação/relatório dos livros de Química Geral, Inorgânica, Orgânica, Analítica, Bioquímica e Físico-Química mais retirados pelos estudantes dos cursos da universidade dos últimos 5 anos. De acordo com o relatório da BCCL, houve uma relação de 17 livros de Química ao total, considerando livros das áreas acima descritas. Contudo, ao realizar a exploração do material de cada livro a partir do índice remissivo, percebemos que em alguns deles, os termos ácidos e bases estão presentes, porém não apresentavam a definição do conceito buscado. Nesses casos, entendemos que os autores assumem que o leitor reconhece o conceito inicial de ácido e base. Desta maneira, seis livros didáticos foram removidos da análise, devido ao fato de não apresentar o conceito buscado, com isso 11 LD compuseram o corpus de análise.

Vale ressaltar que consideramos relevante procurar palavras chave que pudessem envolver os conceitos de ácido e base, sendo assim, buscamos os trechos que descreviam afirmações e definições relacionadas a um item de referência (ácido e base), sendo assim, procuramos nos livros os seguintes termos: *Ácido(s)*, *base(s)*, *ácido(s) e base(s) forte(s)*, *ácido(s) e base(s) fraca(s)*, *ácido(s) e base(s) de Bronsted-Lowry*, *Lewis*, *Arrhenius*, e *Potencial Hidrogeniônico(pH)*. Neste caso, a codificação consiste na transformação das informações brutas, resultando em recortes e enumerações. Isso permite atingir uma representação do conteúdo, ou da sua expressão, evidenciando as características dos livros analisados. No presente trabalho, os processos de codificação e unitarização ocorreram por meio da busca do conceito sobre ácido e base em cada LD encontrado. Desta forma, cada livro foi codificado conforme disposto no quadro 1:

Código	Unitarização	Título	Autor	Edição	Ano de Publicação
L1	L1Un	Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente	Peter Atkins Loretta Jones	5 ed	2012
			Theodore L. Brown H. Eugene		

L2	L2Un	Química A ciência Central	LeMay, Jr Bruce E. Bursten Julia R. Burdge.	9 ed	2003
L15	L15Un	Química Geral volume 1	John B. Russel	2 ed	2009
L3	L3Un	Química Geral volume 2	John B. Russel	2 ed	2009
L14	L14Un	Química Geral Conceitos Gerais	Ramaynd Chang	4 ed	2010
L7	L7Un	Fundamentos de Química Analítica	Skoog West Holler Crouch	8 ed	2006
L6	L6Un	Química Analítica	Séamus Higson	1 ed	2009
L9	L9Un	Química Inorgânica	Duwar Shriver Peter Atkins	4 ed	2006
L10	L10Un	Química Orgânica volume 1	John McMurry	7 ed	2011
L12	L12Un	Bioquímica Ilustrada	Pamela C. Champe Richard A. Harvey Denise R. Ferrier	4 ed	2009
L13	L13Un	Princípios de Bioquímica	David L. Nelson Michael M. Cox	6 ed	2014

Quadro 1: Resultados dos livros mais retirados na BCCL

Por fim, a última etapa da análise, segundo Bardin (1977), é o tratamento dos resultados. Nesta fase, as unidades encontradas são tratadas e validadas, resultando na interpretação dos resultados. Para organizar esta etapa, Bardin (1977) sugere a categorização, que está relacionada a uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto. Isso é feito por meio de uma diferenciação inicial e, posteriormente, por um reagrupamento das respostas, com critérios prévios definidos. Essa abordagem permite a divisão para cada categoria destacando características comuns dos elementos analisados que serão discutidas na seguinte seção.

3. Resultados e Discussões

Ao realizar todo o processo de pré análise e exploração dos resultados, para o tratamento dos resultados, houve um aprofundamento na construção das unidades, resultando em 245 unidades ao total. Durante a construção das unidades de significado foi possível perceber diferentes perspectivas e características. Em virtude disso, foi possível criar categorias com enfoque diversos, relacionadas com as descrições das unidades evidenciadas. Entre as categorias estabelecidas, inclui-se:

- 1- Abordagem Histórica,
- 2- Definição do conceito,
- 3- Aplicação do Conceito,
- 4- Características e Propriedades.

Em que sua demonstração quantitativa é possível observar no gráfico 1.

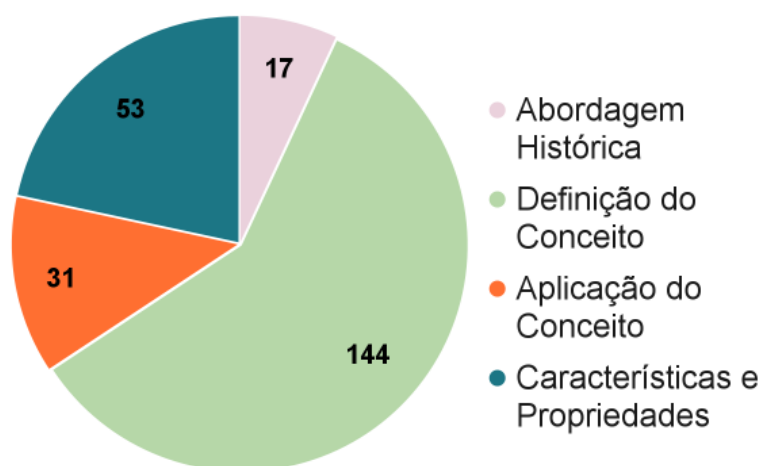


Gráfico 1: Unidade presentes nas categorias criadas

O gráfico 1 está relacionado com o número de unidades encontradas nos LD analisados e suas classificações nas demais categorias. No total, foram identificadas 245 unidades, tendo em vista que em cada uma das unidades foi realizado uma análise, sendo posteriormente classificada na categoria que melhor representasse o conteúdo abordado na unidade.

Ao considerar a relação entre as categorias, é interessante notar que, após as descrições e classificações das unidades nas categorias, torna-se perceptível que há uma possível relação entre as categorias propostas e criadas. Dessa maneira, uma mesma unidade pode estar presente em mais de uma categoria, se mostrando presente na categoria 1 e na categoria 4, por exemplo. Neste contexto, uma unidade

pode abordar o tema de ácido e base, definindo o conceito, ao mesmo tempo em que pode descrever características e propriedades relacionadas à acidez e basicidade.

3.1. Categoria 1 - Abordagem Histórica

Em relação à categoria Abordagem Histórica, ela foi reconhecida através das discussões sobre os trechos que descrevem a teoria de ácido e base mediante uma abordagem histórica. Vale ressaltar que essa categoria também é caracterizada por compreender como o conceito, como o de ácido e base, ou um evento, e se relaciona com outros fatos e acontecimentos (FREITAS, 2002). Nesse caso, apresentavam a teoria desde sua concepção, como foi pensada, quem propôs, o século que estava situada, a localização, bem como sua presença na sociedade. Esse tipo de abordagem foca na compreensão dos fenômenos, no caso, os conceitos de ácido e base, com base em seu desenvolvimento histórico. Essa perspectiva histórica valoriza os aspectos descritivos, a construção dos termos com o avançar dos anos, além procurar o contexto situado (FREITAS, 2002).

Um exemplo é unidade L15U5, na qual o trecho apresenta a seguinte descrição:

A palavra ácido é antiga, vem do latim e significa "azedo". (As soluções de ácido possuem um sabor azedo.) O significado da palavra evoluiu no transcorrer dos anos, e hoje ela tem vários significados úteis e inter-relacionados. É dada uma definição de ácido proposta pelo químico Svante Arrhenius, que foi quem primeiro propôs, em 1887, o conceito de dissociação. De acordo com a definição de Arrhenius, um ácido é um composto que, dissociado em água, libera íons de hidrogênio. Assim, cloreto de hidrogênio é um ácido de Arrhenius: $\text{HCl (g)} \rightarrow \text{H}^+ \text{(aq)} + \text{Cl}^- \text{(aq)}$. As bases também são conhecidas há séculos (um nome mais antigo, álcali, está ainda em uso. Anos atrás reconheceu-se que as bases têm a capacidade de cancelar, ou neutralizar, as propriedades de um ácido. De acordo com a definição de Arrhenius uma base é um composto que, dissociado em água, libera íons de hidróxido. A reação de uma solução de um ácido com uma base é chamada de reação de neutralização. Em tais reações, os íons de hidrogênio (responsáveis pelas características de um ácido) se combinam com íons de hidróxido (responsáveis pelas propriedades características de uma base) para formar água: $\text{H}^+ \text{(aq)} + \text{OH}^- \text{(aq)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$.

Esta perspectiva é evidenciada nas unidades classificadas dentro dessa categoria. Vários livros e unidades (L2U2, L14U5, L15U5) iniciam a discussão destacando a relação intrínseca entre os termos "ácido" (do latim acidus, "azedo") e "base" (do inglês arcaico relacionado a "rebaixar" ou "neutralizar") com experiências sensoriais e práticas históricas. Como exemplificado no trecho acima em L15U5.

"A palavra ácido é antiga, vem do latim e significa 'azedo'. [...] As bases têm a capacidade de cancelar, ou neutralizar, as propriedades de um ácido". Possível identificar em outros trechos, como em L1U1:

“Os primeiros químicos aplicavam o termo ácido a substâncias que têm o sabor azedo acentuado. O vinagre, por exemplo, contém ácido acético, CH_3COOH . As soluções em água das substâncias que eram chamadas de bases ou álcalis eram reconhecidas pelo gosto de sabão.”

Além de mais um exemplo, como L14U5:

“Os ácidos têm sabor azedo: por exemplo, o vinagre deve seu sabor ao ácido acético, e o limão e outras frutas cítricas contêm ácido cítrico. [...] As bases têm sabor amargo. As bases são escorregadias ao tato: os sabões, que contêm bases, apresentam essa característica. As bases provocam mudanças de cor nos corantes vegetais; por exemplo, causam alterações na cor do tornassol de vermelho para azul. As soluções aquosas de bases conduzem eletricidade.

É possível perceber como esses 3 trechos, que estão em diferentes livros, vinculam propriedades fundamentais como sabor azedo dos ácidos (vinagre, limão) e sensação escorregadia das bases (sabão), a processos de identificação pré-científica. A unidade L2U2 ressalta que essa conexão com o cotidiano não é acidental, mas uma estratégia didática para "destacar a relação com o cotidiano, pois sabe-se que as palavras ácido e base possuem uma finalidade diferente dentro da sociedade".

A discussão histórica sobre ácidos e bases inicia-se com a contribuição fundamental, porém limitada, de Svante Arrhenius. Como registrado nas unidades, ele é apresentado como pioneiro: "Historicamente, os químicos têm procurado relacionar as propriedades de ácidos e bases às suas composições e estruturas moleculares. [...] Na década de 1880, o químico sueco Svante Arrhenius (1859 - 1927) ligou o comportamento ácido com a presença de íons H^+ e o comportamento de base com a presença de íons OH^- em água" (L2U3). Sua definição, elaborada em 1884, ofereceu uma "visão coerente de soluções eletrolíticas que daria uma explicação satisfatória do comportamento ácido-base", onde "Arrhenius definiu um ácido como uma substância contendo hidrogênio que produz íons hidrogênio (H^+) em solução e uma base como uma substância que produz íons hidróxido (OH^-) em solução" (L15U6).

Contudo, como destacam as unidades, essa abordagem apresenta fragilidades críticas: "O problema com as definições de Arrhenius é que se referem a um solvente particular, a água" (L1U6). Essa limitação é aprofundada na unidade L15U7, no qual descreve:

A visão de Arrhenius de ácidos e bases fortes e fracos é muito útil mesmo hoje em dia. Contudo, ela tem três defeitos graves: primeiro, o fato de estar limitada ao comportamento em soluções aquosas. Segundo, ela ignora muitas substâncias e outras espécies dissolvidas além dos íons OH^- que se combinarão com íons H^+ e muitas outras além dos íons H^+ que se combinarão com íons OH^- . Finalmente, muitas substâncias que não são compostos

contendo hidrogênio ou hidróxido aumentam a concentração de H^+ ou OH^- quando adicionadas à água. Isto sugere a necessidade de definições mais abrangentes para ácidos e bases.

Outro exemplo é a unidade L2U30, na qual o livro apresenta uma justificativa para o uso mais frequente da teoria de ácido-base baseado em Bronsted-Lowry, em vez de Lewis e Arrhenius. As críticas à insuficiência das teorias protônicas culminam na defesa da teoria de Lewis como marco unificador. L2U30 justifica essa ampliação:

A definição de Lewis permite tratar maior variedade de reações, incluindo as que não envolvem transferência de próton, como complexações com BF_3 . O texto alerta para o risco de confusão terminológica (BF_3 é raramente chamada de ácido a menos que [...] usemos o termo no sentido de Lewis), mas ressalta sua utilidade para explicar ácidos sem prótons (p.ex., cátions metálicos).

Essa defesa ecoa em L15U7, que vê na teoria de Lewis a resposta às "definições mais abrangentes" exigidas pelas lacunas de Arrhenius. A justificativa é clara: enquanto Bronsted-Lowry resolve limitações contextuais, Lewis supera a própria noção de "transferência protônica" como essência da acidez. O foco deste capítulo tem sido na água como solvente e no próton como fonte de propriedades ácidas. Em tais casos, encontramos a definição de ácido e bases de Bronsted-Lowry a mais útil. De fato, quando nos referimos a uma substância como ácida ou básica, geralmente pensamos em soluções aquosas e usamos os termos no sentidos de Arrhenius ou Bronsted-Lowry.

Diante dessas restrições, surge o conceito de Bronsted-Lowry como uma resposta teórica direta. Conforme L2U4, "O conceito de ácido e base de Arrhenius, embora útil, tem limitações. Porque é restrito a soluções aquosas. Em 1923, [...] Johannes Bronsted [...] e [...] Thomas Lowry [...] propuseram uma definição mais geral". Essa generalização, como explicita L9U3, reside na transferência protônica: "Johannes Bronsted na Dinamarca e Thomas Lowry na Inglaterra propuseram (em 1923) que o aspecto essencial de uma reação ácido-base é a transferência de um íon hidrogênio, H^+ , de uma espécie para outra". L15U9 reforça que "Bronsted na Dinamarca e Lowry na Inglaterra, independentemente, sugerir[am] uma definição de ácido-base muito útil. [...] uma definição protônica".

Vale destacar que a dupla autoria simboliza a construção colaborativa do conhecimento: como registra L1U7, "Um avanço importante [...] aconteceu em 1923, quando dois químicos trabalhando independentemente, Thomas Lowry, na Inglaterra, e

Johannes Bronsted, na Dinamarca, tiveram a mesma ideia", fato reiterado em L1U18: "Thomas Lowry [...] e Johannes Bronsted [...] formularam suas ideias separadamente".

Para superar até mesmo as limitações da transferência protônica, o conceito de Lewis introduz uma expansão radical. Conforme L9U26, "A teoria dos ácidos e bases de Bronsted e Lowry enfoca a transferência de próton entre as espécies. [...] Esta deficiência foi remediada por uma teoria de acidez mais abrangente, introduzida por G. N. Lewis no mesmo ano [...] (1923)", baseada na "transferência de pares eletrônicos". L15U11 detalha que "Uma definição de ácido-base ainda mais abrangente foi sugerida pelo químico americano G. N. Lewis em 1923 [...]. Muitas substâncias que não satisfazem os critérios de Arrhenius ou Bronsted-Lowry são classificadas de maneira lógica como ácido ou base de Lewis", embora seu impacto só tenha se consolidado posteriormente, como nota L9U26: "A abordagem de Lewis tornou-se influente somente a partir da década de 1930".

Seguindo nessa lógica, identificamos que este percurso não é linear, uma vez que livros como explicitam como cada teoria surgiu para resolver lacunas da anterior, enquanto outros privilegiam Bronsted-Lowry como "definição comumente aceita" (L1U7), minimizando Arrhenius. A abordagem histórica vincula os conceitos a contextos sociais mais amplos, trazendo alguns exemplos de Saúde e farmacologia: O uso de ácidos (aspirina) e bases (leite de magnésia) é destacado como exemplo de aplicação cotidiana L14U3:

Para maioria das pessoas, os ácidos e as bases são tão familiares como a aspirina e o leite de magnésia, embora muitos não saibam quimicamente como se designam - ácido acetilsalicílico (aspirina) e hidróxido de magnésio (leite de magnésia). Além de fazerem parte da composição de muitos medicamentos e produtos de uso doméstico, os ácidos e bases são importantes em processos industriais e essenciais na manutenção de sistemas biológicos. (L14U3)

O Impacto ambiental e biológico é possível visualizar em unidades como L2U1 relacionam equilíbrios ácido-base à sustentabilidade de ecossistemas aquáticos e processos fisiológicos:

"A habilidade do ambiente aquático dar suporte à vida de peixes e plantas [...] depende de maneira crítica da acidez e basicidade" (L2U1).

A partir dessas unidades descritas nessa categoria, é possível analisar uma certa superficialidade e hierarquização, apesar da riqueza potencial, há fragilidades, como uma personificação excessiva, uma vez que alguns trechos reduzem o desenvolvimento conceitual a "feitos heroicos" de cientistas isolados (Arrhenius,

Bronsted, Lewis), sem contextualizar o ambiente científico da época. Outra crítica para essa abordagem é a hierarquização artificial, uma vez que em algumas unidades, vemos livros como L1 e L9 apresentam as teorias numa sequência linear "evolutiva" (Arrhenius → Bronsted-Lowry → Lewis), sugerindo uma superação definitiva, quando na realidade são modelos complementares com escopos distintos. Vemos também uma clara descontextualização cultural, com exceção de algumas unidades, como L15U5 e L2U2, poucos livros exploram as práticas sociais (fabricação de vinagre, sabão) e como isso pode influenciar a elaboração teórica.

Nesse sentido, a categoria de Abordagem Histórica se mostrou relevante para desnaturalizar conceitos químicos apresentados como verdades absolutas. Os livros (especialmente L1, L9, L15) promovem uma visão da ciência como empreendimento humano, falível e em constante reconstrução. Contudo, o potencial pedagógico é parcialmente subutilizado quando a história é reduzida a cronologias lineares ou notas biográficas desconectadas de problemas científicos reais.

3.2. Categoria 2 - Definição do conceito

A categoria Definição do Conceito emergiu como a mais representativa na análise dos livros didáticos, consolidando-se como o eixo central para a compreensão teórica dos conceitos de ácidos e bases. Conforme Dahlberg (1978), um conceito opera como uma unidade de conhecimento que sintetiza afirmações verdadeiras sobre um referente. Desta maneira, o termo "conceito", segundo o dicionário Aurélio (2010), é a formulação de uma ideia por palavras, definição. O que se alinha com o propósito desta categoria, que é agrupar formulações e estruturantes que definem cientificamente ácidos e bases. Nas unidades analisadas, observa-se um esforço sistemático para apresentar definições claras, frequentemente acompanhadas de critérios operacionais que demarcam as fronteiras conceituais entre diferentes teorias. A categoria é a mais abrangente entre todas consideradas, uma vez que a principal busca nos livros era, propriamente, pelo conceito de ácido e base. Retifica-se que, para esta análise, buscou-se nos livros didáticos do ensino superior de Química os conceitos de ácido e base, classificando-se nessas unidades os trechos que abordassem a formulação de uma ideia, definições, bem como afirmações verdadeiras relacionadas ao item de referência (ácido e base). As unidades analisadas demonstram uma abordagem estruturada, onde definições são apresentadas não como enunciados isolados, mas

articuladas a critérios que demarcam fronteiras entre teorias concorrentes. Por exemplo, a unidade L10U2 define explicitamente a teoria de Bronsted-Lowry:

Um ácido de Bronsted-Lowry é uma substância que doa um próton (H^+) e uma base de Bronsted-Lowry é uma substância que recebe um próton

Enquanto L10U12 introduz a definição de Lewis:

Um ácido de Lewis é uma substância que recebe um par de elétrons e uma base de Lewis é uma substância que doa um par de elétrons.

Essas definições não apenas contrastam perspectivas teóricas, mas também estabelecem critérios de identificação (transferência de prótons vs pares eletrônicos), reforçando a construção conceitual da química. Observa-se ainda uma preocupação em vincular definições a mecanismos subjacentes. A unidade L14U11 detalha pares ácido-base conjugados, dizendo que "O conceito de par ácido-base conjugado [...] é uma extensão da definição de ácidos e bases de Bronsted. A base conjugada de um ácido de Bronsted é a espécie que se forma quando "um próton é retirado do ácido", evidenciando como a categoria utiliza definições estáticas para incorporar relações dinâmicas de transformação química. Além disso, unidades como L1U7 (Um ácido é um doador de prótons. Uma base é um aceitador de prótons) e L9U26 (Um ácido de Lewis é um aceitador de par de elétrons. Uma base de Lewis é um doador de par de elétrons) destacam a intencionalidade pedagógica de diferenciar teorias, enfatizando suas aplicabilidades distintas em solventes aquosos e não aquosos.

A categoria também integra definições operacionais que quantificam comportamentos, como na unidade L1U11, que classifica ácidos fortes e fracos pela completude da desprotonação:

Um ácido forte está completamente desprotonado em solução. Um ácido fraco está incompletamente desprotonado em solução.

Essa abordagem instrumentaliza o conceito, transformando-o em um critério mensurável. Paralelamente, unidades como L14U10 (Um eletrólito é uma substância que, quando dissolvida em água, produz uma solução capaz de conduzir eletricidade) expandem o escopo definicional ao relacionar ácidos/bases a propriedades físico-químicas, demonstrando como a categoria sintetiza múltiplas camadas de significado.

Por meio deste enfoque, as unidades presentes constituem e mostram conceitos a respeito do conteúdo de ácido e base, como exemplificado pela unidade L1U2, na qual seu trecho descreve o conceito do tema buscado.

Os químicos debateram os conceitos de acidez e basicidade por muitos anos antes que definições precisas aparecessem. Dentre as primeiras definições úteis estava a que foi proposta pelo Químico sueco Svante Arrhenius, por volta

de 1884: Um ácido é um composto que contém hidrogênio e reage com a água para formar íons hidrogênio. Uma base é um composto que produz íons hidróxido na água.

As definições não se limitam a uma única perspectiva teórica; pelo contrário, os livros articulam uma progressão histórica e epistemológica que reflete o desenvolvimento do conhecimento químico. A teoria de Arrhenius, por exemplo, é introduzida como pioneira na descrição operacional da acidez e basicidade, conforme explicitado na unidade L1U2. Essa definição, embora útil, é contextualizada como limitada por sua dependência exclusiva do solvente aquoso, crítica destacada na unidade L1U6:

"O problema com as definições de Arrhenius é que se referem a um solvente particular, a água".

A superação dessa limitação é alcançada com a teoria de Bronsted-Lowry, apresentada como um marco de generalização conceitual. A unidade L1U7 enfatiza:

"Um ácido é um doador de prótons. Uma base é um aceitador de prótons. [...] a definição de Bronsted-Lowry é a definição comumente aceita hoje".

Aqui, a ênfase recai sobre a transferência de prótons como processo fundamental, independente do meio, ampliando o escopo para sistemas não aquosos e incorporando espécies iônicas. A unidade L9U4 reforça essa universalidade:

"As definições não se referem ao ambiente no qual a transferência de próton ocorre, de forma que elas se aplicam ao comportamento [...] em qualquer solvente e mesmo na ausência de solvente".

À medida que as definições evoluem, os livros introduzem nuances que aprofundam a compreensão das propriedades ácido-base. A força de ácidos e bases, por exemplo, é definida com base no grau de ionização, como detalhado na unidade L1U11:

"Um ácido forte está completamente desprotonado em solução. Um ácido fraco está incompletamente desprotonado em solução. [...] Uma base fraca está incompletamente protonada em solução".

Essa categorização não é meramente descritiva; vincula-se a critérios quantitativos (como constantes de equilíbrio) e implica consequências práticas, como o cálculo de pH (unidade L6U8). Além disso, a ideia de pares conjugados (unidade L1U23) adiciona uma camada de sofisticação ao relacionar ácidos e bases através de reações reversíveis:

"A base conjugada de um ácido é a espécie produzida quando um ácido doa próton. Ácido conjugado é a espécie produzida quando uma base aceita um próton".

A categoria também incorpora a teoria de Lewis, que transcende a transferência protônica ao focar na dinâmica eletrônica. A unidade L1U25 a define como:

"Um ácido de Lewis é um aceitador de par de elétrons. Uma base de Lewis é um doador de par de elétrons".

Essa abordagem, como nota a unidade L9U27, integra-se às anteriores:

"O próton é um ácido de Lewis porque pode se ligar a um par de elétrons. [...] Toda base de Bronsted é uma base de Lewis".

Diante do exposto, a análise demonstra que os livros não apenas listam definições, mas as contextualizam em um quadro crítico. Por exemplo, a unidade L7U2 ressalta a utilidade da teoria de Bronsted-Lowry na química analítica, enquanto a unidade L15U11 discute a generalidade da definição de Lewis para reações não protônicas. Contudo, observa-se uma hierarquia didática: Arrhenius serve como introdução, Bronsted-Lowry como núcleo consolidado, e Lewis como expansão para casos específicos.

A análise revela ainda que as definições frequentemente incorporam elementos contextuais históricos, como em L9U3 (Johannes Bronsted [...] e Thomas Lowry [...]) propuseram que o aspecto essencial de uma reação ácido-base é a transferência de um íon hidrogênio), embora tal dimensão seja secundária frente ao rigor conceitual. Essa discussão entre definição e evolução teórica reforça uma ideia de evolução do conhecimento científico nos livros.

Destaca-se que, de acordo com a construção do pensamento científico, segundo Bachelard (1996), está relacionada com o erro, no caso a retificação, ao invés da verdade, no momento de construção do conhecimento, sendo uma forma positiva para construção do pensamento científico. Segundo Lopes (1996, p.253):

A ciência não reproduz uma verdade, seja ela a verdade dos fatos ou das faculdades do conhecimento. Portanto, não existem critérios universais ou exteriores para julgar a verdade de uma ciência. Cada ciência produz sua verdade e organiza os critérios de análise da veracidade de um conhecimento.

Bachelard (1996) descreve que o conhecimento, mais especificamente o científico, é construído e desenvolvido por meio de rupturas de ideias e superação de erros, em um constante processo de ruptura com que se pensava o que é conhecido. Lopes (p.266, 1996) apresenta um exemplo sobre a construção do conhecimento científico:

Não existe um contínuo racional na história do conhecimento científico: a Física Relativística diz não à Física Newtoniana, a Geometria de Lobatchevsky diz não à Geometria Euclidiana, a Química Quântica diz não à Química Lavoisieriana. Esse processo de negação não implica, contudo, o abandono das teorias anteriormente construídas. Trata-se, sim, de reordenar, de ir além de seus pressupostos, por introduzir uma nova racionalidade.

Nesse sentido, reconhece-se que a crítica está intrinsecamente ligada à retificação de erros, promovendo a reorganização de pensamentos e rompendo com os anteriores. Dessa maneira, torna-se perceptível identificar rupturas em cada teoria proposta pelos químicos sobre ácido e base. Mediante a isto, as unidades classificadas nesta categoria abordam críticas sobre o tema ácido de ácido e base, destacando limitações, defeitos e possíveis problemas.

Em síntese, consideramos a categoria Definição do Conceito é fundamental para o ensino de ácidos e bases, combinando clareza descritiva, rigor científico e construção histórica. Essa categoria faz atuação também como alicerce para a compreensão das demais categorias, estabelecendo parâmetros claros que permitem distinguir teorias, mecanismos e aplicações. Sua predominância nos materiais analisados mostra como é buscado nos livros a centralidade da precisão conceitual no ensino superior de química, onde a clareza definicional não é um fim, mas um meio para a crítica e a inovação científica. É possível perceber também que cada teoria surge não como mero acréscimo, mas como resposta a obstáculos epistemológicos identificados nas anteriores. A passagem de Arrhenius para Bronsted-Lowry, para os livros, resolve a dependência do solvente; a transição para Lewis supera a fixação no próton.

3.3. Categoria 3 - Aplicação do conceito

A respeito dessa categoria, ela foi fundamentada por meio da breve abordagem que Rocha (2013) e Santos (2021) realizam em seus respectivos artigos. Nesse caso, os autores mencionam que um LD selecionado em suas pesquisas também descreveu uma sequência de ácido e base e suas aplicações; no entanto, os autores não justificam nem apresentam um exemplo dessa situação.

Esta categoria foi elaborada com o propósito de caracterizar unidades que descrevessem a aplicação do conceito ácido e base em uma situação específica. As unidades presentes nessa categoria abordam, em seus trechos, a aplicação dos conceitos de ácidos e bases em expressões matemáticas, tipos de soluções, comportamento das moléculas, técnicas analíticas e reações químicas. O objetivo é classificar, determinar, explicar e observar o comportamento de uma molécula ou

composto, permitindo a identificação, por exemplo, se uma substância possui um comportamento ácido ou básico. Um exemplo claro é a unidade L12U4, em que se afirma: “A equação de Henderson-Hasselbalch pode ser utilizada para determinar o pH de uma solução tampão a partir das concentrações relativas de ácido e base conjugados.” Esse trecho mostra a aplicação matemática do conceito de ácido-base, ao empregar a equação mencionada como ferramenta para o cálculo do pH em soluções específicas. A presença desse conteúdo não apenas remete à aplicabilidade do conceito em uma situação real (o uso da solução tampão), mas também evidencia uma aproximação entre o conhecimento teórico e a prática laboratorial ou analítica, considerando que a equação de Henderson-Hasselbalch é amplamente utilizada em contextos de bioquímica e química analítica.

Na mesma linha, a unidade L13U22 amplia essa perspectiva ao detalhar: “A equação de Henderson-Hasselbahlch: Para a ionização de ácidos fracos em meio aquoso, ou de bases fracas, é possível calcular o pH ou o pOH da solução a partir de uma equação simples.” Nesse caso, observa-se uma repetição da aplicação da mesma equação, mas com um enfoque voltado ao comportamento das espécies químicas em meio aquoso. O uso da expressão “é possível calcular” revela um objetivo pedagógico voltado à instrumentalização do aluno, promovendo a capacidade de manipular dados quantitativos com vistas à obtenção de informações qualitativas, como a identificação do caráter ácido ou básico de uma solução.

Já a unidade L2U12 destaca: “Os ácidos fortes transferem completamente seus prótons (H^+) para a água, enquanto os fracos o fazem parcialmente.” Aqui, embora o foco esteja na distinção entre forças relativas dos ácidos, a explicação implica diretamente a aplicação conceitual em reações de ionização, permitindo a interpretação do comportamento das espécies em solução aquosa. Essa descrição fundamenta-se em aspectos do cotidiano laboratorial, no qual é essencial conhecer o grau de dissociação para prever a reatividade ou o papel do ácido em uma reação. No que se refere a representação simplista do íon H^+ como “próton isolado” é criticada por sua incompletude química. A unidade L2U5 enfatiza que:

Os químicos usam $H^+(aq)$ e $H_3O^+(aq)$ de maneira intercambiável [...] entretanto o íon $H_3O^+(aq)$ representa melhor a realidade.

Essa crítica não é meramente semântica, pois ao destacar que o próton hidratado interage fortemente com pares de elétrons (L2U5), os autores sublinham que a teoria de Bronsted-Lowry, ao incorporar H_3O^+ , oferece um modelo mais fiel à

solvatação prôtica. A justificativa para essa transição é pedagógica e epistemológica: a representação $H^+(aq)$ é mantida por "simplicidade" (L2U5), mas sua inadequação pode perpetuar visões reducionistas sobre mecanismos reais.

Outro exemplo que sustenta a pertinência dessa categoria é a unidade L2U16, em que se descreve: “O que acontece ao pH de uma solução à medida que adicionamos um ácido forte?” Essa pergunta conduz à aplicação conceitual de forma investigativa, instigando o estudante a prever e justificar as mudanças nas propriedades de uma solução mediante uma intervenção química. O objetivo não é apenas apresentar um dado, mas mobilizar o conhecimento sobre comportamento de soluções e a definição operacional de ácidos, como agentes que alteram a concentração de íons H^+ no meio.

A unidade L2U18, ao afirmar: “Outras escalas de ‘p’: O uso do logaritmo é comum para expressar concentrações em química. Exemplos incluem o pH, pOH e pKa,” introduz uma perspectiva mais ampla de aplicação, demonstrando como o conceito de ácido-base está interligado a outras grandezas que auxiliam na interpretação das reações. O uso de escalas logarítmicas demonstra uma articulação entre a linguagem matemática e a linguagem química, permitindo ao estudante estabelecer correlações entre níveis conceituais distintos. O conjunto das unidades analisadas na categoria permite inferir que os livros didáticos selecionados procuram integrar os conceitos de ácidos e bases com diferentes ferramentas de análise, sejam equações, medidas de pH, ou relações de dissociação, com o intuito de promover a compreensão dos fenômenos químicos de maneira contextualizada.

Ao mesmo tempo, a natureza das aplicações permanece, em muitos casos, vinculada a situações abstratas ou fortemente ancoradas em modelos idealizados, como as soluções tampão e as reações em meio aquoso. A ausência de exemplos concretos do cotidiano ou de situações problematizadoras revela uma limitação dos materiais, que poderiam se beneficiar da introdução de aplicações mais situadas no universo do estudante, reforçando a criticidade e a função social do conhecimento químico. Outro exemplo de unidade é a L9U4, na qual seu trecho descreve:

As definições não se referem ao ambiente no qual a transferência de próton ocorre, de forma que elas se aplicam ao comportamento de transferência do próton em qualquer solvente e mesmo na ausência de solvente. (L9U4)

Unidades como L13U22 e L12U4 ilustram o uso de ferramentas matemáticas para prever comportamentos químicos. A equação de Henderson-Hasselbalch

(L13U22) é apresentada como um instrumento essencial para relacionar pH, concentrações e constantes de equilíbrio:

$\text{pH} = \text{pK}_a - \log [\text{HA}] / [\text{A}^-]$... permite calcular o pK_a , dado o pH e a razão molar do doador e do aceptor de prótons, e calcular o pH, dado o pK_a e a razão molar entre doador e aceptor. (L13U22)

Essa equação não apenas simplifica cálculos em titulações, mas também fundamenta o entendimento de sistemas tamponantes em fluidos biológicos (L12U4), como no ajuste de pH em soluções fisiológicas ou farmacológicas. Já L6U8 emprega o produto iônico da água (K_w) para determinar o pH de bases fortes:

Conhecendo $[\text{OH}^-]$ e K_w , é possível calcular $[\text{H}^+]$ e, portanto, o pH... (L12U4)

Reforçando a interdependência entre conceitos teóricos (autoionização da água) e técnicas quantitativas. Unidades como L6U18 e L7U8-L7U9 destacam métodos experimentais baseados em propriedades ácido-base. Os eletrodos de pH (L6U18) são descritos como dispositivos que convertem conceitos abstratos (concentração de H^+) em dados mensuráveis:

O eletrodo de pH mede a concentração de H^+ , e o resultado normalmente exibido é o valor de pH.

De modo complementar, indicadores ácido-base (L7U8) como tornassol ou fenolftaleína são aplicados para detectar pontos de equivalência em titulações, com sua seleção dependendo da faixa de pH:

A escolha de um indicador não é crítica quando a concentração do reagente é 0,1 mol/L, mas é inadequada para soluções diluídas (0,001 mol/L) (L7U9).

Essas unidades evidenciam como a teoria se materializa em protocolos laboratoriais, enfatizando critérios práticos (como concentração e faixa de transição) para validação experimental. Aplicações em soluções tampão (L6U12) e separações por pH (L7U12) demonstram o papel dos ácidos/bases na manipulação de equilíbrios. Os tampões são definidos como sistemas que resistem a mudanças de pH mediante adição de ácidos ou bases:

Um tampão será capaz de resistir às mudanças de pH com a adição de mais ácido, desde que haja um estoque suficiente de H-A. (L6U12)

Esse trecho mostra que é um princípio importante para manter a estabilidade em meios biológicos. Já L7U12 traz discussões sobre aplicações industriais, como separações de íons metálicos controladas por pH:

Muitas separações baseadas no controle do pH estão disponíveis ... em soluções concentradas de ácidos fortes, tampões ou hidróxidos

Buscando vincular conceitos a processos como purificação de minerais ou tratamento de efluentes. Unidades como L6U9 e L10U10 analisam a reatividade química a partir da força ácido-base. O princípio de Le Chatelier (L6U9) é aplicado para prever deslocamentos de equilíbrio em ácidos fracos:

A imposição de um excesso de íons H^+ ou OH^- age como uma mudança externa ... o sistema resiste alterando a concentração de íons. (L6U9)

Em L10U10, a estabilização por ressonância em bases conjugadas (como acetato) explica por que ácidos carboxílicos são mais fortes que álcoois:

A base conjugada do ácido acético é estabilizada por ressonância ... tornando-o um ácido mais forte (L10U10)

Ilustrando como as propriedades eletrônicas se traduzem em comportamento mensurável. Embora as aplicações quantitativas e instrumentais sejam bem representadas, nota-se uma escassez de contextualizações cotidianas ou socioambientais. Por exemplo, unidades sobre chuva ácida (L2U1) ou digestão (L14U3) são categorizadas como Abordagem Histórica, mas não exploram como os conceitos resolvem esses problemas. Além disso, aplicações em novas tecnologias (e.g., baterias, nanomateriais) são ausentes, limitando a conexão com avanços científicos contemporâneos. Portanto, a análise revela que, embora a aplicação do conceito de ácidos e bases esteja presente nos livros, ela se realiza predominantemente por meio de abordagens técnico-formais, muitas vezes desvinculadas de uma dimensão problematizadora ou histórico-social. Tal constatação reforça a necessidade de ampliar as formas de abordagem das aplicações, incorporando contextos significativos e exemplos que estimulem a compreensão crítica do papel dos ácidos e bases no cotidiano e na prática científica, não se limitando apenas em sua representação teórica ou algorítmica.

3.4. Categoria 4 - Características e propriedades

Em relação a esta categoria, pode-se afirmar que ela foi estabelecida mediante a numerosas unidades que esclarecem a abordagem de ácido e base através das características e propriedades de substâncias, moléculas e soluções. É possível notar também que as unidades aqui presentes apresentam, em seus trechos uma descrição de uma formulação de uma ideia, definições, assim como afirmações verdadeiras relacionadas ao item de referência (ácido e base). Além disso, descrevem características e propriedades de ácido e base, diferenciando ambos os tipos, incluindo

valores próprios de pH, tabelas sobre força de basicidade e acidez, as forças de determinadas substâncias ácidas e básicas, e propriedades de moléculas específicas.

Segundo o dicionário Aurélio, a característica está relacionada com aquilo que se caracteriza, ou seja, uma particularidade. Nesse sentido, as unidades presentes nesta categoria apresentam inúmeras características e propriedades de ácido e base, diferenciando ambos os tipos, valores próprios de pH, tabelas sobre força de basicidade e acidez, além das forças de e determinadas substâncias ácidas e básicas e propriedades de denominadas moléculas. Isso pode ser identificado na L1U24:

Ácido doa H^+ , base conjugada. Como o HCN é o ácido que se forma quando um próton se transfere para um íon cianeto, ele é “ácido conjugado” da base CN^- . Em geral, o ácido conjugado é a espécie produzida quando uma base aceita um próton aceita um próton: Base aceita H^+ , ácido conjugado.

Além deste trecho, outro que apresenta características e propriedades de ácidos e bases é o L9U36. Nessa unidade, descreve-se uma nova característica apresentada para ácido e base, denominada de “ácidos e base duros” e “ácidos e bases macias”.

Nos ácidos e bases de Lewis, devemos considerar uma maior variedade de receptores e, desta forma, os fatores adicionais que influenciam as interações entre doadores e receptores do par de elétrons em geral. Ácido e bases duros e macios são identificados empiricamente pelas tendências nas estabilidades dos complexos que eles formam: ácidos duros tendem a se ligar com bases duras e ácidos macios tendem a se ligar com bases macias.

A categoria emerge como um espaço dedicado a destacar, enfatizando a descrição de propriedades intrínsecas, diferenciações estruturais e comportamentais, bem como a quantificação de suas intensidades por meio de parâmetros como pH, constantes de dissociação e tabelas de força. Por exemplo, a unidade L13U14 aponta que “Cada ácido tem uma tendência característica de perder seu próton. A tendência de qualquer ácido (HA) de perder seu próton depende diretamente do valor de sua constante de dissociação” (L13U14). Essa afirmação não apenas expõe o conceito de K_a como parâmetro fundamental, mas também introduz implicitamente a distinção entre ácidos fortes e fracos, dependendo do grau de dissociação em meio aquoso. De modo complementar, em L13U9, “Quando ácidos fracos são dissolvidos na água, eles contribuem parcialmente para a concentração de íons H^+ , e esses processos também são governados por constantes de equilíbrio”, reforçando a ideia de que nem todos os ácidos doam prótons de forma completa, situação que determina a magnitude de seu efeito no pH final da solução. A unidade L10U22 traz, em caracteres sucintos, a comparação entre bases fracas e fortes a partir de valores de pK_a :

Base fraca: pK_a menores para o íon amônio

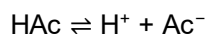
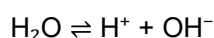
Base forte: pKa maiores para o íon amônio (L10U22).

Ao relacionar o conceito de basicidade à escala de pKa, o texto confirma que a força de uma base é tanto maior quanto menos disposto estiver seu cátion conjugado a liberar prótons. Em L10U21, esse mesmo tema é ilustrado sob a perspectiva do equilíbrio químico: “A força de uma base pode ser estabelecida definindo-se o equilíbrio de equilíbrio para a transferência de prótons e se o equilíbrio for fortemente favorável é o equilíbrio para a transferência de prótons”, explicitando como a posição do equilíbrio constata, em termos quantitativos, a eficiência de uma base em retirar H⁺ da água ou de outras espécies. Além da quantificação, vários trechos enfatizam a diferenciação conceitual e estrutural entre ácidos e bases, muitas vezes situadas no contexto de ácidos orgânicos e suas bases conjugadas. A unidade L10U1 afirma: Mais um importante conceito relacionado à eletronegatividade e parte da química das moléculas orgânicas pode ser explicado. O que indica que, para além de identificar a entidade como ácido ou base, os autores procuram relacionar a tendência de uma molécula doar ou receber H⁺ com noções de eletronegatividade atômica e polaridade de ligações C–H. Em continuidade, L10U10 descreve: “Ácidos e bases orgânicos: Os ácidos orgânicos são caracterizados pela presença de grupo COOH, enquanto as bases orgânicas são tipicamente aminas”; e L10U11 complementa: “As bases orgânicas são caracterizadas pela presença de um par de elétrons não ligantes em nitrogênio”, deixando claro que, no campo orgânico, a definição de ácido e base se ancora na presença estrutural de grupos funcionais capazes de atuar como doadores ou aceptores de prótons. Ao explicitar as características moleculares, esses textos evidenciam que a teoria de Bronsted-Lowry, embora conceitualmente simples, requer a percepção das estruturas químicas e de suas densidades eletrônicas para que se compreenda a origem da acidez ou basicidade.

Outra nuance recorrente é o papel da água enquanto substância anfotérica, atuando ora como ácido, ora como base. A unidade L14U12 explica que “A água, como sabemos, é um solvente ímpar. Uma das suas características mais relevantes é agir tanto como base em reações ácidos, tais como ácido quanto como.”; dessa forma, reforça-se o caráter duplo da água, elemento-chave em praticamente todos os experimentos e demonstrações didáticas. Ao se colocar a água como mediadora dos equilíbrios ácido-base, os livros não apenas contextualizam a relevância deste solvente, mas também vinculam as propriedades de moléculas acuosas à variação de pH, enfatizando que a água puríssima possui autoionização ($\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$) e,

portanto, um pH neutro de 7 a 25 °C, antes mesmo de introduzir ácidos ou bases exógenos. Ainda no domínio dos equilíbrios, a unidade L13U16 descreve:

Duas reações reversíveis de equilíbrio estão envolvidas aqui, por simplicidade, o ácido acético será designado por HAc:



O equilíbrio deve ocorrer simultaneamente. (L13U16)

Deixando explícito que o processo de ionização de ácidos fracos em meio aquoso não pode ser dissociado da autoionização da água, levando o estudante a compreender que o cálculo de pH de soluções diluídas depende da resolução simultânea desses equilíbrios. Nessa mesma linha, L13U21 aborda as propriedades dos sistemas tampão: “Sempre que H^+ ou OH^- é adicionado em um tampão, o resultado é atenuado pela presença de ácidos e bases fracos e seus ânions e, portanto, uma pequena mudança no pH ocorre.”, enfatizando que as propriedades amortecedoras estão diretamente relacionadas à presença de pares conjugados que atuam em equilíbrio dinâmico, mantendo o pH dentro de uma faixa restrita. A diferenciação entre ácidos monoprotônicos, diprotônicos e polipróticos encontra espaço em L14U23, onde se lê:

Para ácidos dipróticos, se $K_1 \gg K_2$, podemos supor que a concentração da base conjugada da segunda etapa da ionização. (L14U23)

Demonstrando, assim, a abordagem de níveis sucessivos de dissociação e a forma como cada constante (K_1 , K_2) deve ser avaliada para cálculo de concentrações iônicas em cada estágio de ionização. Esse cuidado com o detalhamento de múltiplos equilíbrios segue a prática pedagógica de conduzir o estudante a compreender que nem sempre a ionização de uma segunda etapa é relevante se K_2 for significativamente menor, o que impacta diretamente na determinação de pH e na estabilidade de espécies como HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} em soluções.

Por sua vez, a caracterização de propriedades de moléculas específicas frequentemente extraídas de compostos orgânicos de relevância acadêmica ou industrial, também figura entre os textos analisados. A unidade L10U1 menciona: “Mais um importante conceito relacionado à eletronegatividade e parte da química das moléculas orgânicas pode ser explicado.”, requerendo que o leitor considere a influência de átomos como oxigênio, nitrogênio e halogênios na força ácida ou básica de compostos aromáticos e contendo cadeias funcionais. Ademais, L13U9 afirma que “processos também são governados por constantes de equilíbrio que dependem de

fatores intrínsecos da molécula, como ressonância, efeito indutivo e polarização eletrônica”, o que demonstra a preocupação em dimensionar tais propriedades no contexto de proporcionalidade entre estruturas moleculares e comportamento ácido-base.

Quanto às escalas de pH especificamente atribuídas a substâncias, algumas unidades fornecem exemplos numéricos ou valores típicos. Embora muitas vezes esses valores apareçam em tabelas ilustrativas, em L13U14, ao discutir a “tendência característica de perder seu próton. depende diretamente do valor de sua constante de dissociação”, fica implícito que o estudante é convidado a relacionar quantitativamente a intensidade ácida ao cálculo do pH:

Se $K_a = 1,8 \times 10^{-5}$ (para o ácido acético), podemos calcular o pH de uma solução de concentração $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (L13U14).

Já em L10U21, reforça-se a comparação entre diferentes bases na mesma tabela de força: “definindo-se o equilíbrio para a transferência de prótons e verificando se o equilíbrio é favorável ou não, os autores apresentam valores de pK_b para cada substância.”, sinalizando que os valores numéricos delimitam nitidamente as categorias de bases fortes e fracas.

A lista de exemplos de substâncias específicas inclui ainda aminas, fenóis e carboxilatos, que são tratados como bases conjugadas de ácidos orgânicos. Em L10U11, “As bases orgânicas são caracterizadas pela presença de um par de elétrons não ligantes em nitrogênio que pode aceitar um próton, formando amônios intermediários .”, demarcando que o caráter básico está diretamente vinculado à capacidade de um átomo de nitrogênio em estabilizar carga positiva após a protonação, aspecto que se reflete no valor de pK_a do ácido conjugado. Por outro lado, em L10U10, “Ácidos orgânicos são caracterizados pela presença de grupo COOH , e a ionização em água gera íon carboxilato, cujo comportamento pode ser ilustrado por tabelas de força”, indicando que a semelhança estrutural entre ácidos inorgânicos e orgânicos reside, essencialmente, na tendência de perder H^+ , mas que o contexto orgânico acrescenta elementos de ressonância e efeitos eletrônicos específicos de cadeias carbônicas.

É importante ressaltar que, embora os exemplos se concentrem na química em meio aquoso, algumas unidades demonstram preocupação em extrapolar os conceitos para cenários mais amplos. Por exemplo, L10U1 menciona a atuação de agrupamentos eletronegativos em moléculas orgânicas, indicando indiretamente aplicações em

síntese orgânica ou em compostos bioquímicos, assimilando as características ácido-base a transformações químicas mais sofisticadas. Além disso, embora poucas unidades tratem explicitamente de solventes não aquosos, a ênfase na água como meio padrão (L14U12) determina que qualquer outra discussão sobre solventes alternativos seja secundária, enfatizando a necessidade de o estudante dominar primeiro as propriedades de substâncias em meio aquoso para, depois, aventurar-se em solventes como etanol ou amônia líquida.

Lima e Moradillo (2019) relacionam trechos como este a uma característica comportamental. Neste caso, os conceitos sobre ácido e base podem determinar o comportamento de uma molécula. Com base nessa perspectiva, as unidades selecionadas para esta categoria trazem em seus trechos diversas características e propriedades de ácidos e bases. As unidades frequentemente recorrem a propriedades sensoriais e transformações físicas para distinguir ácidos de bases, vinculando-as à experiência cotidiana. Por exemplo:

L14U5 descreve:

"Os ácidos têm sabor azedo: por exemplo, o vinagre deve seu sabor ao ácido acético [...] provocam mudanças de cor nos corantes vegetais; por exemplo, causam uma alteração na cor do tornassol de azul para vermelho".

L2U34 reforça:

"Os ácidos podem mudar a cor de certos corantes de maneira peculiar [...] o tornassol muda de azul para vermelho na presença de um ácido, e de vermelho para azul na presença de uma base".

Essas características, embora úteis didaticamente, são apresentadas com ressalvas implícitas sobre limitações práticas (e.g., riscos de testes sensoriais). A ênfase em indicadores como tornassol (L1U1, L13U11) e fenolftaleína (L7U8) reforça o papel de ferramentas visuais na identificação, mas raramente aprofunda mecanismos moleculares subjacentes.

A força relativa de ácidos e bases é sistematicamente associada a fatores estruturais e termodinâmicos. Unidades como L9U22 explicam a acidez de oxiácidos pela eletronegatividade e arranjo atômico: "Para uma série de oxiácidos mononucleares de um elemento E, a força dos ácidos aumenta com o aumento do número de átomos de oxigênio. [...] o oxigênio, ao retirar elétrons, torna a ligação O-H mais fraca". Já L10U10 vincula a estabilização por ressonância à força ácida em compostos orgânicos: "A base conjugada do ácido acético é estabilizada por ressonância". A relação inversa entre força do ácido e de sua base conjugada é um

princípio recorrente: L1U40 afirma que "Quanto mais forte o ácido, mais fraca será sua base conjugada", enquanto L10U7 acrescenta: "Um ácido fraco tem uma base conjugada forte".

Substâncias anfóteras e ácidos polipróticos são apresentados como casos paradigmáticos da complexidade ácido-base, L2U7 define anfoterismo como a capacidade de uma substância "agir como ácido ou como base", exemplificando com água e íons como HSO_4^- . L1U44 destaca a dualidade de íons derivados de ácidos polipróticos: "A base conjugada de um ácido poliprótico é anfiprótica, isto é, pode agir como um ácido ou como uma base". O poliprotismo é detalhado em L14U22, que descreve dissociações sucessivas com constantes decrescentes ($\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$; $\text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$), enfatizando que "a remoção do primeiro próton é sempre mais fácil" (L2U23).

A quantificação de propriedades via pH, pKa, Kw e energias de ativação é abordada com rigor matemático, L6U6 define pH como "o negativo de log10 da concentração de íons hidrogênio", enquanto L13U15 associa pKa à força ácida: "Quanto maior a acidez de uma solução, mais baixa é o pH [...] O pKa expressa, em uma escala logarítmica, a força relativa de um ácido ou base fraca". L14U17 estabelece a relação entre pH e pOH: "pH + pOH = 14 (25 °C)", e L17U3 introduz parâmetros cinéticos ("energia de ativação") para reações ácido-base catalíticas.

Apesar da riqueza descritiva, observam-se lacunas, primeiro referente a superficialidade em mecanismos moleculares, vemos que propriedades como mudança de cor de indicadores (L1U3, L3U13) raramente são explicadas em nível eletrônico. Além da falta de contextualização crítica: A dependência do solvente na força ácido-base (L9U17) é mencionada sem discussão sobre implicações teóricas.

Esta categoria evidenciou um esforço dos livros em ancorar conceitos abstratos em propriedades mensuráveis. Contudo, a ênfase em descrições fenomenológicas em detrimento de mecanismos profundos limita a compreensão da natureza das interações ácido-base. A inclusão de mais exemplos interdisciplinares (L12U1) poderia ampliar a relevância percebida pelos estudantes.

4. Percepções e discussões acerca das categorias

A análise dos livros didáticos de Química do Ensino Superior demonstra que os conceitos de ácidos e bases foram abordados por meio de quatro categorias inter-relacionadas, cada qual contribuindo de forma distinta, porém complementar, para a

construção do conhecimento químico. A Abordagem Histórica (categoria 1) demonstrou uma ideia de construção sobre as teorias de Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis e como ela é frequentemente apresentada de uma forma linear, trazendo uma ideia de evolução. Contudo, como destacam Freitas (2002) e os próprios dados desta pesquisa, essa narrativa pode incorrer em simplificações, como a personificação excessiva dos cientistas e a desconsideração do contexto sociocultural. Apesar disso, essa perspectiva histórica cumpre um papel crucial ao desnaturalizar conceitos, evidenciando a Química como um campo dinâmico e em constante reformulação (BACHELARD, 1996). A Definição do Conceito (categoria 2), predominantemente quantitativa, demonstrou como os livros priorizam o rigor na formulação teórica, articulando definições operacionais (como ácidos como doadores de H^+ em Bronsted-Lowry ou aceptores de pares eletrônicos em Lewis) com críticas às limitações de escopo (como a dependência do solvente aquoso em Arrhenius). Essa categorização, segundo Dahlberg (1978), sintetiza "afirmações verdadeiras" sobre o referente, mas também reflete o processo de retificação do erro descrito por Bachelard (1996) cada nova teoria surge como resposta a obstáculos identificados nas anteriores, como a incapacidade de Arrhenius explicar sistemas não aquosos ou a fixação protônica de Bronsted-Lowry.

A Aplicação do Conceito (categoria 4) e as Características e Propriedades (categoria 5) emergiram como dimensões práticas e descritivas que instrumentalizam o conhecimento teórico. Enquanto Aplicação do conceito (categoria 3) enfatizou ferramentas quantitativas (como equação de Henderson-Hasselbalch, cálculos de pH) e técnicas analíticas (eletrodos, indicadores), a Categoria 4 detalhou propriedades intrínsecas (e.g., força ácida vinculada a estrutura molecular, anfoterismo) e comportamentos em equilíbrio. Contudo, conforme apontado por Lima e Moradillo (2019) e Santos (2021), ambas as categorias apresentam lacunas significativas: (i) as aplicações restringem-se majoritariamente a contextos laboratoriais abstratos, com pouca articulação com problemas cotidianos ou socioambientais (chuva ácida, digestão); (ii) as propriedades são descritas fenomenologicamente, sem aprofundar mecanismos moleculares (transições eletrônicas em indicadores).

O processo de análise dos livros Química mais retirados da biblioteca Campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas possibilitou evidenciar, por meio de uma análise de conteúdo referente a Bardin (1977), que os conceitos de ácido e base, são descritos de forma semelhantes nos livros que foram incluídos para análise.

Posteriormente, ao descrever as categorias, percebeu-se que os demais livros apresentam certo enfoque sobre determinados conteúdos de ácido e base. Nesse sentido, alguns livros abordam mais sobre *pH*, *ácido forte*, *base forte*, *titulação de ácido e base*, *constante de acidez*, entre outros enfoques. Por exemplo, o L14 apresenta um enfoque maior somente alguns tópicos relacionados aos conceitos de ácido e base, abordando o que se relaciona com o foco geral do livro. No caso dos livros analisados de Química Analítica relacionam os conceitos de ácido e base para analisar características e propriedades de moléculas, soluções, amostras, reagentes e outros materiais.

Para melhor visualização desses aspectos, criou-se o Quadro 2 que destaca o enfoque apresentado em cada livro analisado.

LIVROS	CONTEÚDOS DE ÁCIDO E BASE
L1	Conceito de Ácidos e base a partir de Bronsted e Lowry Ácido e Base forte - Ácido e Base fraca Conceito de Ácidos e base a partir de Arrhenius
L2	Ácido e Base forte - Ácido e Base fraca Conceito de Ácidos e base a partir de Bronsted e Lowry pH
L15	Ácido e Base forte - Ácido e Base fraca Conceito de Ácidos e base a partir de Arrhenius pH
L3	Ácido e Base forte - Ácido e Base fraca pH
L14	Características sobre ácidos e bases Ácido e Base forte - Ácido e Base fraca Constantes de dissociação, Constante de acidez e Constante de basicidade
L7	pH Conceito de Ácidos e base a partir de Bronsted e Lowry Solução tampão
L6	Constantes de dissociação, Constante de acidez e Constante de basicidade pH Ácido e Base forte - Ácido e Base fraca
L9	Conceito de Ácidos e base a partir de Lewis Conceito de Ácidos e base a partir de Bronsted e Lowry Características sobre ácidos e bases
L10	Ácido e Base forte - Ácido e Base fraca Conceito de Ácidos e base a partir de Lewis Conceito de Ácidos e base a partir de Bronsted e Lowry
L12	Constantes de dissociação, Constante de acidez e Constante de basicidade
L13	Constantes de dissociação, Constante de acidez e Constante de basicidade pH

Quadro 2: Principais conteúdos sobre ácido e base apresentados nos Livros Didáticos

Conforme o Quadro 2 mostrado acima, percebe-se que a grande maioria descreve com maior detalhe a teoria proposta por Bronsted e Lowry, relacionando-a com outras abordagens referentes ao conteúdo de ácido e base, como, por exemplo, na determinação do pH de uma substância.

Por outro lado, os livros de áreas específicas da Química abordam a temática de ácido e base voltadas para seu enfoque central. Sendo assim, é evidente que os autores dos LD descrevem os conceitos de ácido e base com poucas relações entre a definição do conceito com as características e propriedades, a definição do conceito e uma abordagem sócio-histórica, a definição do conceito e aplicação, definição do conceito com criticidade e justificativa.

5. Considerações finais

Referente a isso, este trabalho compreende que atualmente a teoria de Bronsted e Lowry são as ideias centrais para ácidos e base. Assim, a proposta de Svante Arrhenius é vista somente como introdutória na grande maioria dos livros analisados, sendo descrita em pequenos trechos juntamente com a ressalva das limitações que essa teoria possui. A Teoria de Gilbert N. Lewis, por outro lado, é uma teoria complementar, que contribui para os conceitos de ácido e base propostos por Bronsted e Lowry, como pode ser visto em alguns trechos dos livros.

A interação entre essas categorias expõe tensões pedagógicas. A precisão definicional sustenta as aplicações matemáticas, mas a ênfase excessiva em formalismos pode dificultar a compreensão conceitual, corroborando a crítica de Taber (2019) sobre a "densidade de ideias abstratas" na Química. Junto disso, a abordagem histórica, quando reduzida a cronologias, perde o potencial de contextualizar as aplicações e propriedades em cenários reais, limitando a criticidade proposta por Zanotto et al. (2016).

Algumas críticas aos livros sugerem que poderia ter um uso mais eficiente caso os LD fizessem uma integração com as categorias de forma dialética, relacionando definições a aplicações contextualizadas (como, utilizar a teoria de Lewis para explicar catálise em processos industriais), fazer uma ampliação da abordagem histórica, pois além de marcos biográficos, incluindo discussões sobre como necessidades sociais (como a fabricação de sabões) influenciaram teorizações e que fosse incorporado aplicações como implicações ambientais do despejo de ácidos ou o papel de tampões fisiológicos na manutenção da vida (LIMA et al., 2015).

Nesse sentido, concluímos que, embora os livros analisados ofereçam um arcabouço teórico robusto, a fragmentação entre as categorias reforça uma visão compartimentalizada do conhecimento. Como afirma Lopes (1996, p. 266), a ciência avança por "negações" que reorganizam pressupostos anteriores um processo que só se efetiva quando conceitos, história, aplicações e propriedades dialogam de forma coerente e contextualizada. Assim, futuras revisões de livros didáticos devem priorizar essa integração, transformando ácidos e bases não em "conteúdos estanques", mas em ferramentas epistemológicas para decifrar transformações materiais e sociais.

Referências

- BACHELARD, Gaston. **La formation de l'esprit scientifique**. Paris: J. Vrin, 1947. Tradução por Estela dos Santos Abreu. A formação do espírito científico. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Tradução: Luís A. Reto e Augusto Pinheiro. 70. ed. Lisboa: Edições, 1977. 229 p.
- DAHLBERG, Ingetraut. Teoria do Conceito. **Ciência da Informação**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 101-107, dez. 1978.
- FERNANDES, Maria Angélica Moreira; PORTO, Paulo Alves. Investigando a presença da história da Ciência em livros didáticos de Química. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 420-429, jul. 2011.
- FREITAS, Maria Teresa de Assunção. A abordagem sócio-histórica como orientadora da pesquisa qualitativa. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, v. 1, n. 116, p. 21-39, jul. 2002.
- HARDY-VALLÉE, Benoit. Que é um conceito? São Paulo: Parábola, 2013. 125 p.
- LIMA, Claudiane; PINHEIRO, Barbara Carine Soares; MORADILLO, Edilson Fortuna de. A apropriação dos conceitos Ácidos e Bases e a Pedagogia Histórico-Crítica: uma interlocução em sala de aula. **Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Águas de Lindóia, v. 1, n. 1, p. 1- 8, nov. 2015.
- LIMA, Claudiane; MORADILLO, Edilson F. de. Ácidos e Bases nos Livros Didáticos: Ainda Duas das Quatro Funções da Química Inorgânica? **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 41, n. 3, p. 242-247, ago. 2019.
- LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro; AGUIAR JÚNIOR, Orlando; CARO, Carmen Maria de. A formação de conceitos científicos: Reflexões a partir da produção de livros didáticos. **Ciência & Educação, Bauru**, v. 17, n. 8, p. 855-871, fev. 2011.
- LOPES, Alice Casimiro. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, Florianópolis. v. 13, n. 3, p. 248-273, dez. 1996.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas ao Aprendizado da Ciência Química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 74, n. 177, p. 309-334, jun. 1993.

NUNES, Albino Oliveira; DANTAS, Josivânia Marisa; OLIVEIRA, Anselmo de; HUSSEIN, Fabiana Roberta Gonçalves e Silva. Revisão no Campo: O Processo de Ensino-Aprendizagem dos Conceitos Ácido e Base entre 1980 e 2014. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 185-196, fev. 2016.

ROCHA, Hoziam Hudson Xavier. **A contextualização e a interdisciplinaridade no ensino de Química: uma análise de livros didáticos ACIDO-BASE e das propostas pedagógicas realizadas pelos docentes diante da temática**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado em Físico-Química; Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SANTOS, Laíce Cristina da Silva. **ÁCIDOS E BASES: CONSTRUÇÃO DO CONCEITO E APRESENTAÇÃO NOS LIVROS DIDÁTICOS**. 2021. 20 f. TCC (Doutorado) - Curso de Licenciatura em Química, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2021.

TABER, K. S. Conceptual confusion in the chemistry curriculum: exemplifying the problematic nature of representing chemical concepts as target knowledge. **Foundations Of Chemistry**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 309-334, 26 set. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10698-019-09346-3>.

ZANOTTO, Ricardo Luiz; SILVEIRA, Rosemari Monteiro Castilho Foggatto; SAUER, Elenise. Ensino de conceitos químicos em um enfoque CTS a partir de saberes populares. **Ciência & Educação, Bauru**, v. 22, n. 3, p. 727-740, set. 2016.

6. Olhando para a dissertação e evidenciando o fio guia

A análise comparativa proposta, busca elucidar como os conceitos científicos, em particular, os de ácidos e bases, são dispostos nos livros didáticos e quais elementos de didatização são evidenciados ao serem mediados para diferentes contextos educacionais. Essa investigação se justifica pela necessidade de compreender os processos de mediação didática (Lopes, 1997) baseado nos trabalhos que ocorrem quando o conhecimento científico, originalmente complexo e marcado por rupturas epistemológicas, é adaptado para fins de ensino. A problematização entre os três estudos que compõem esta dissertação permite identificar tanto as continuidades quanto as transformações sofridas por esses conceitos fundamentais da Química em sua jornada desde a construção histórica até sua apresentação em materiais didáticos do Ensino Médio e Superior.

Cabe salientar que embora Gaston Bachelard não tenha desenvolvido uma teoria específica e que suas discussões não são sobre o ensino e didática, tendo um foco no pesquisador que faz ciência, sua reflexão epistemológica sobre os obstáculos que impedem a construção do espírito científico oferece lentes potentes para examinar os materiais educativos. Sendo assim, a importância dessa análise reside na possibilidade de identificar os obstáculos epistemológicos que persistem no ensino de Química, muitos dos quais decorrem justamente das simplificações necessárias ao processo de mediação didática. Como mostram os estudos de Bachelard, o conhecimento científico avança através de rupturas, superando concepções anteriores. No entanto, quando esse conhecimento é transformado em conteúdo de ensino, há frequentemente um apagamento dessas rupturas, resultando em visões simplificadas que podem levar a concepções alternativas entre os estudantes. Ao confrontar a análise histórica e epistemológica do primeiro artigo com as investigações sobre livros didáticos do Ensino Médio (segundo artigo) e Superior (terceiro artigo), este capítulo pretende mapear como as diferentes teorias sobre ácidos e bases de Arrhenius e Lewis são selecionadas, hierarquizadas e apresentadas em cada nível de ensino. Essa abordagem permitirá identificar em que medida os materiais didáticos preservam ou não a complexidade inerente à construção do conhecimento científico, e como as escolhas feitas nesse processo de mediação podem facilitar ou dificultar a aprendizagem significativa desses conceitos.

Além disso, a discussão entre os livros do Ensino Médio e Superior tem como finalidade verificar se há uma progressão adequada (como se esperaria para explicações conceituais de nível médio para superior) na complexidade com que os conceitos são tratados, ou se persistem visões simplistas mesmo em níveis mais avançados de formação. Essa análise é relevante considerando que muitos dos obstáculos epistemológicos identificados no Ensino Médio podem se perpetuar no Ensino Superior, limitando a compreensão mais aprofundada dos fenômenos químicos. Por fim, este capítulo busca contribuir para reflexões sobre como equilibrar, na prática educativa, a necessária simplificação didática com a manutenção da riqueza conceitual e histórica que caracteriza o conhecimento científico. Ao evidenciar as transformações ocorridas pelos conceitos de ácidos e bases em sua mediação para diferentes contextos educacionais, espera-se oferecer subsídios para repensar o ensino desses conteúdos fundamentais, de modo a superar obstáculos epistemológicos e promover uma aprendizagem mais crítica e significativa.

6.1 Problematisações entre os artigos 1 e 2:

A análise evidenciada a partir dos artigos analisados destaca tensões entre a complexidade epistemológica inerente à construção histórica do conhecimento científico e as simplificações necessárias à sua adaptação pedagógica. O primeiro artigo, ao reconstituir a construção histórica e ontológica das teorias de Arrhenius a Lewis, demonstra que o desenvolvimento científico ocorreu através de rupturas, marcadas por transformações nas categorias ontológicas de matéria e de processo e por superações de obstáculos epistemológicos. Em contraste, o segundo artigo, ao examinar a apresentação desses mesmos conceitos em livros didáticos do PNLD 2021, expõe um cenário de aplanamento dessas complexidades, onde as teorias são frequentemente descontextualizadas, hierarquizadas linearmente e reduzidas a definições operacionais.

A análise feita no primeiro artigo destaca que as teorias ácido-base emergiram de um diálogo crítico com limitações experimentais e conceituais. A teoria de Arrhenius (1887), enraizada na eletroquímica do século XIX, foi uma resposta a lacunas nas teorias de Lavoisier e Liebig, consolidando-se graças a trabalhos predecessores como os de Faraday, Kohlrausch e Ostwald. Sua definição de ácidos como liberadores de H^+ e bases como liberadores de OH^- em meio aquoso reflete uma ontologia materialista, vinculada à presença de entidades iônicas específicas. Já a teoria de Lewis (1923),

elaborada em um contexto científico distinto (pós-revolução quântica e química de coordenação), representou uma ruptura ao redefinir acidez e basicidade como processos de aceitação e doação de pares eletrônicos, independentes de solventes ou prótons. Essa transição, como mostra o artigo, não foi cumulativa, mas envolveu uma reestruturação conceitual.

Nos livros didáticos do PNLD (segundo artigo), as ideias históricas e epistemológicas são drasticamente reduzidas. Embora 31 unidades (13,7% do total analisado) incluam abordagens históricas, predominam relatos superficiais que isolam teorias de seus contextos de produção. Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis são apresentados em sequência linear, como estágios evolutivos, sem destacar as diferenças entre as suas ideias. Por exemplo, enquanto o primeiro artigo ressalta que a teoria de Lewis surgiu para explicar fenômenos não abarcados por Arrhenius, com a acidez de BF_3 , os livros pouco exploraram essas limitações como progresso de construção da ciência. A categoria "Abordagem Histórica" divide-se em duas subabordagens: uma aprofundada (ex.: L5U1, que contextualiza Boyle e indicadores) e outra meramente historiográfica (ex.: L14U4, que cita datas e nomes sem problematização). Esta última, majoritária, reforça uma visão estática da ciência, onde teorias são fatos a serem memorizados, não obstáculos a serem superados (BACHELARD, 1996).

Nesse sentido, o primeiro artigo enfatiza a distinção ontológica entre as teorias, em dentro da categoria de matéria, opera Arrhenius (íons H^+/OH^- como entidades pré-existentes), enquanto Lewis adota categorias de "processo" (interações dinâmicas de transferência eletrônica). Para Paik (2015), essa diferença explica por que estudantes têm dificuldade em transitar entre teorias uma vez que implica mudanças radicais na percepção da realidade química. Nos livros didáticos, contudo, a ontologia materialista de Arrhenius domina 74 unidades (32,7% do total), concentradas na categoria "Características Comportamentais". Ácidos e bases são definidos por propriedades macroscópicas (pH, condutividade, sabor) ou listas de exemplos (HCl , NaOH), com pouca conexão com mecanismos submicroscópicos. Mesmo quando Bronsted-Lowry e Lewis são mencionados (55 unidades na categoria "Simbolismo"), persiste uma ênfase em entidades materiais, como por exemplo:

1. Em L30U3, a teoria de Lewis é reduzida a " BF_3 é ácido, NH_3 é base", ignorando o caráter relacional do processo.

2. Em L41U9, bases são caracterizadas como "eletrólitos fortes/fracos", reforçando a associação com íons OH^- .

Esse tipo de abordagem facilita mensurações, como os cálculos de pH, que estão dentro das 51 unidades na categoria "Pensamento Matemático", mas esvazia o significado conceitual. Como alerta Dahlberg (1978), conceitos tornam-se enunciados verdadeiros apenas se vinculados a referenciais epistemológicos sólidos, é possível evidenciar que raramente ocorre. Assim, a análise do segundo artigo sob a lente do triângulo de Johnstone (1982) revela que, embora os livros mobilizem os três níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico, há uma fragmentação na sua articulação.

O nível macroscópico geralmente é focado em propriedades observáveis (ex.: mudança de cor de indicadores), mas desvinculado de explicações profundas. Sobre o nível submicroscópico, aparece sendo abordado em teorias históricas, mas sem ligação com simbolismo ou aplicações cotidianas. E por fim o nível simbólico aparece em equações, como: $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ e são apresentadas como ferramentas matemáticas, não como representações de processos químicos. Dessa maneira é possível observar que livros como L8 e L11 usam apenas níveis macroscópico e simbólico, ignorando o nível submicroscópico. Já L5, L7 e L19 priorizam simbólico e submicroscópico, omitindo conexões com fenômenos palpáveis. A rara integração (L23) não explora como símbolos medeiam a compreensão dos processos, como exemplo: transferência protônica em Bronsted-Lowry.

Dessa forma, essa análise evidencia que as simplificações identificadas mobilizam, principalmente, dois obstáculos epistemológicos, conforme Bachelard, o primeiro é o quinto obstáculo, o Substancialista, que se manifesta na reificação de conceitos dinâmicos e relacionais, possível evidenciar ao tratar ácidos e bases como substâncias com propriedades fixas (ex.: "ácidos têm sabor azedo"), os livros reforçam a visão de que acidez é uma qualidade intrínseca, não um comportamento contextual. Nos livros analisados, essa tendência é evidente quando ácidos e bases são definidos como entidades com essências fixas, por exemplo, ao apresentar o HCl como "substância ácida" por liberar H^+ , ignorando que, na teoria de Lewis, a acidez é um comportamento que depende da aceitação de pares eletrônicos, não um atributo permanente. Essa abordagem, predominante na categoria Características Comportamentais (32,7% das unidades), reforça a ideia de que "ser ácido" é uma qualidade inerente, independente de interações químicas. Como consequência, os estudantes podem vir a assimilar uma visão estática que desconsidera a natureza

processual das reações ácido-base, dificultando a compreensão de fenômenos químicos.

E o segundo obstáculo evidenciado é o quarto, unitário e pragmático, que é possível entender que ele opera da forma de unitarização do conhecimento histórico, como na abordagem das teorias de Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis, a apresentação da sequência (Arrhenius → Bronsted-Lowry → Lewis) como evolução natural, pode gerar uma rejeição inicial à teoria de Arrhenius, por exemplo. O resultado é uma imagem distorcida da ciência, linearizadas como uma ideia de evolução natural, fazendo um processo de ignorar as rupturas epistemológicas entre elas. A abordagem historiográfica feita de forma superficial (maioria na categoria Abordagem Histórica) cita datas e nomes sem problematizar conflitos teóricos como as diferenças ontológicas entre matéria e processo. Essa narrativa unificada oculta que a teoria de Lewis surgiu para resolver limitações insuperáveis das concepções anteriores, como explicar a acidez do BF_3 , que não envolve prótons, transmitindo uma imagem falseada da ciência como empreendimento harmônico, não crítico. Sobre esse mesmo obstáculo também é possível identificar um pragmatismo operacional, que faz uso instrumental de ferramentas matemáticas, como cálculos de pH, em detrimento da compreensão conceitual. Equações como $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ são apresentadas como algoritmos, sem vinculação com os fenômenos submicroscópicos que representam, por exemplo, a relação entre $[\text{H}_3\text{O}^+]$ e a força de ácidos, reduzindo o conhecimento a procedimentos mecânicos.

Esses obstáculos principais desdobram-se em outros, mostrando como os livros têm os seus efeitos negativos. O obstáculo verbal acaba aparecendo quando definições simbólicas, como por exemplo, dizer que "ácido de Lewis aceita pares de elétrons" são esvaziadas de significado, sem articulação com mecanismos químicos, como os orbitais vazios, hibridização, etc. O obstáculo realista aparece ao tratar íons (H^+ , OH^-) como entidades literais, negligenciando sua mediação química, como a ideia de que, um H^+ isolado não existe em água é sempre solvatado como H_3O^+ . Já o obstáculo do conhecimento quantitativo, é evidenciado quando exercícios numéricos sobre K_a ou pH suplantam discussões qualitativas sobre "por que certas moléculas exibem caráter ácido-base", como por exemplo, o papel da eletronegatividade na força dos ácidos. Sendo assim, podemos perceber que há implicações pedagógicas. O obstáculo substancialista explica por que estudantes classificam a amônia (NH_3) como base de Arrhenius (ignorando que ela não libera OH^-), enquanto o obstáculo unitário

justifica a dificuldade em reconhecer que a teoria de Lewis não invalida Arrhenius, mas amplia seu escopo para novos contextos. Ambos impedem a superação do senso comum, pois deixam enraizadas visões problemáticas para a química.

Dessa forma, os livros didáticos analisados, ao priorizarem simplificações substancialistas e narrativas lineares, reforçam obstáculos epistemológicos que Bachelard identificou como entraves ao longo do livro a formação do espírito científico. Os livros do PNLD 2021 tendem a favorecer operacionalizações simplificadas em detrimento da profundidade epistemológica. Essa opção, embora facilitadora para o ensino básico, cristaliza visões distorcidas da ciência e dificulta a compreensão avançada.

6.2 Problematizações entre os artigos 1 e 3:

A análise comparativa entre o estudo epistemológico do Artigo 1 e a investigação sobre livros didáticos do ensino superior Artigo 3 demonstra processos complexos de mediação didática que são notáveis através da seletividade conceitual, reconfiguração ontológica e hierarquização pedagógica. Essas ideias, embora necessárias para a adequação do conhecimento científico ao contexto educativo (LOPES, 1997), geram distorções significativas na representação da natureza do conhecimento químico.

O Artigo 1 demonstra que as teorias de Arrhenius e Lewis emergiram de contextos diferentes, onde controvérsias experimentais e reformulações teóricas eram constitutivas do processo científico. A teoria de Arrhenius (1887) não foi um marco isolado, mas uma síntese crítica de trabalhos predecessores, conforme discutido no artigo 1. Essa rede complexa de influências é drasticamente simplificada nos livros do ensino superior analisados. Como mostra o Artigo 3, de forma geral os livros reduzem o contexto histórico a notas biográficas desconectadas (Arrhenius propôs em 1887), apagando as controvérsias e o caráter coletivo da construção científica. A categoria Abordagem Histórica nos LD representa apenas 18% das 245 unidades analisadas, sendo que mesmo nestas predomina uma narrativa linear evolucionista (Arrhenius → Bronsted → Lewis) que ignora a coexistência de rupturas. O Artigo 1 detalha, por exemplo, como a teoria de Lewis (1923) foi inicialmente rejeitada por sua abstração, ganhando aceitação apenas na década de 1930 com o avanço da química de coordenação nuance presente em apenas uma única unidade dentro todos os LD analisados.

A análise ontológica do Artigo 1 revela uma diferença fundamental entre as teorias, em quem Arrhenius está situado dentro de uma ideia ontológica de matéria, com a ideia de que ácidos e bases são como entidades que contêm H^+ ou OH^- pré-formados. Já a abordagem de Lewis faz com que ele seja categorizado dentro da ontologia de processo, em que entende a acidez como a capacidade de aceitar pares eletrônicos. Esta distinção filosófica, crucial para entender a incomensurabilidade parcial entre teorias (PAIK, 2015), é sistematicamente ausente nos LD. Enquanto o Artigo 1 demonstra como Lewis rejeitava explicitamente modelos eletrostáticos estáticos, os LD transformam sua teoria em mera extensão da visão protônica. O Quadro 2 do Artigo 3 mostra que apenas os livros L9 e L10 dedicam espaço significativo à teoria de Lewis, tratando-a predominantemente como ferramenta para química inorgânica (complexos metálicos) sem explorar sua ruptura ontológica. O exemplo possível de visualizar é o trifluoreto de boro (BF_3): enquanto o Artigo 1 discute sua natureza processual (aceptor de elétrons), os LD (ex: L2U30) apresentam-no como "exceção" à definição protônica, mantendo a centralidade do próton como referente ontológico.

Nesse sentido, a ideia de mediação didática institui uma hierarquia implícita que cristaliza obstáculos epistemológicos: Soberania do conceito de Bronsted-Lowry, uma vez em que esteve presente na maioria das discussões dos LD analisados, é elevada à "definição comumente aceita" (L1U7), apesar do Artigo 1 mostrar que Lewis propôs sua teoria simultaneamente (1923) como alternativa, não complemento, à visão protônica. Também notamos um reducionismo operacional, possível notar quando vemos as propriedades processuais, como mecanismos de transferência eletrônica, são subsumidas a definições estáticas. A categoria Definição do Conceito representa 43% das unidades, mas grande parte delas apresentam definições descontextualizadas de mecanismos, como a equação de Henderson-Hasselbalch (L12U4) ensinada como algoritmo sem vinculação à dinâmica eletrônica subjacente. Além disso, é notável a persistência de simplificações, como a própria representação do íon hidrogênio como $H^+(aq)$, como exemplo em L15U5, apesar das críticas documentadas (L2U5: " H_3O^+ representa melhor a realidade"). Esta simplificação, útil didaticamente, reforça a visão de Arrhenius sobre de prótons "pré-existent", criando obstáculos que podem dificultar a compreensão da solvatação como processo dinâmico.

Dessa forma essas ideias de mediação geram problemas, uma vez que a apresentação linear "evolutiva" dificulta que cada teoria resolva problemas específicos:

Arrhenius para sistemas aquosos, Lewis para reações sem transferência protônica. Isso impede que os estudantes vejam a ciência como resposta a problemas contextuais. Além de criar um impasse no nível das aplicações, pois vemos unidades que acabam se restringindo a contextos laboratoriais abstratos aos alunos, como os cálculos de pH sem contexto. Aplicações sociais (chuva ácida) ou tecnológicas (catálise) são mencionadas poucas vezes das unidades, perdendo a oportunidade de mostrar como as diferentes teorias explicam fenômenos distintos. Assim, a análise evidencia que a mediação didática nos livros do ensino superior opera através de um duplo movimento: enquanto simplifica a complexidade histórica e ontológica, amplia o tratamento matemático-operacional (cálculos de pH, constantes de equilíbrio). Estes dois pontos trazem consigo obstáculos epistemológicos, como a visão de que teorias mais "abrangentes" (Lewis) invalidam as anteriores, ignorando seu domínio de aplicabilidade (Arrhenius segue válido para sistemas aquosos).

Como mostra Bachelard via na história da ciência não uma cronologia, mas um campo de rupturas onde "uma ideia mal compreendida é um obstáculo" (1996, p.22). Os LD analisados, ao transformarem as teorias de ácidos e bases em "fatos históricos" desconectados de seus problemas originários, convertem justamente essas rupturas em obstáculos para a compreensão da natureza processual e contextual do conhecimento químico. A superação deste impasse exigiria uma mediação didática que, sem abdicar da necessária simplificação, preservasse as tensões criativas entre matéria e processo, entre generalização e contexto, que marcaram a construção desses conceitos fundamentais.

6.3 Problematizações entre os artigos 2 e 3:

A análise comparativa dos artigos que investigam os conceitos de ácidos e bases nos livros didáticos do Ensino Médio (PNLD 2021) e do Ensino Superior revela processos de mediação didática, marcados por seleções, hierarquizações e simplificações que refletem tanto as finalidades pedagógicas de cada nível de ensino quanto obstáculos epistemológicos persistentes. Esta comparação evidencia como o conhecimento científico, originalmente construído através de rupturas e contradições históricas, é transformado em objeto de ensino, frequentemente perdendo suas nuances em prol de uma apresentação linear e estabilizada. No Ensino Médio, a análise dos 16 livros aprovados pelo PNLD 2021 demonstra uma predominância da teoria de Arrhenius. Essa escolha didática justifica-se pela aparente simplicidade da

definição baseada na liberação de íons H^+ e OH^- em meio aquoso, além de sua vinculação com propriedades sensoriais e macroscópicas (sabor azedo, textura escorregadia) que facilitam a contextualização inicial. Contudo, essa abordagem acarreta reducionismos significativos. A teoria é frequentemente apresentada como "verdade estabelecida", com menções superficiais às teorias subsequentes de Bronsted-Lowry e Lewis, estas últimas relegadas a breves notas complementares.

A categoria Características Comportamentais traz mais destaque à descrição dos conceitos, enfatizando propriedades observáveis e experimentos, mas sem aprofundar os mecanismos submicroscópicos ou as limitações teóricas. A análise histórica, quando presente, tende a ser fragmentada e desconectada dos contextos socioculturais que impulsionaram as rupturas epistemológicas, reduzindo-se a cronologias lineares ou dados biográficos isolados. Nota-se ainda uma preocupação em distribuir os conceitos pelos três níveis do triângulo de Johnstone (macroscópico, submicroscópico e simbólico), mas essa integração raramente ultrapassa a justaposição, sem explorar as relações dialéticas entre fenômenos observáveis, modelos teóricos e representações formais.

Já nos livros do Ensino Superior analisados, identifica-se uma inversão hierárquica: a teoria de Bronsted-Lowry assume centralidade, sendo tratada como a "definição comumente aceita" (L1U7), enquanto Arrhenius é relegado a uma introdução histórica "superada". As definições conceituais constituem o eixo estrutural, com rigor terminológico e críticas explícitas às limitações de escopo como a dependência do solvente aquoso em Arrhenius ou a restrição protônica em Bronsted-Lowry. A teoria de Lewis, por sua vez, é apresentada como uma expansão necessária para sistemas não protônicos, embora seu tratamento seja frequentemente marginalizado frente à hegemonia da abordagem protônica. Apesar do maior aprofundamento teórico, persistem obstáculos epistemológicos: a representação do H^+ como "próton isolado" (em vez de H_3O^+ hidratado) ainda aparece por "simplicidade" (L2U5), perpetuando uma visão descontextualizada da solvatação. As aplicações do conceito concentram-se em ferramentas formais (cálculos de pH, equações de Henderson-Hasselbalch, técnicas titulométricas), mas permanecem ancoradas em contextos abstratos, com pouca articulação com problemas reais (industriais, ambientais ou fisiológicos). A abordagem histórica, embora mais crítica que no Ensino Médio, ainda opera com narrativas evolutivas lineares (Arrhenius $\rightarrow$ Bronsted $\rightarrow$ Lewis), minimizando a coexistência e complementaridade das teorias.

A comparação entre os dois níveis demonstra diferenças na seleção e hierarquização teórica, pois enquanto o Ensino Médio prioriza Arrhenius por sua acessibilidade fenomenológica, o Superior elege Bronsted-Lowry por seu rigor operacional. Em ambos, porém, há um apagamento da complexidade histórica, as teorias não são apresentadas como respostas a problemas epistemológicos específicos, mas como estágios sucessivos de uma "evolução" cumulativa. A teoria de Lewis, fundamental para compreender catálise, complexação metálica e reações em solventes não aquosos, é sistematicamente subutilizada, especialmente no Ensino Médio. A fragmentação dos níveis de representação é perceptível, pois embora os livros do Ensino Médio busquem integrar macro, micro e simbólico, essa articulação raramente avança além da descrição superficial. No Superior, predomina o formalismo simbólico-matemático, com menor ênfase na conexão com fenômenos macroscópicos ou aplicações contextualizadas. Em ambos, a relação entre estrutura molecular e comportamento ácido-base (como efeitos eletrônicos, hibridação) é pouco explorada, limitando a compreensão mecanística.

É possível reparar também na persistência de obstáculos epistemológicos, uma vez que percebemos que conceitos como "força ácida" são reduzidos a tabelas de K_a ou pK_a sem discussão aprofundada sobre fatores eletrônicos e termodinâmicos subjacentes. Nota-se ainda uma lacuna grave na discussão sobre solventes não aquosos, reforçando a visão da água como solvente universal, o que contradiz a própria generalidade proposta por Bronsted-Lowry e Lewis. Além, de perceber uma descontextualização, pois apesar de menções a aplicações cotidianas (aspirina, leite de magnésia) ou ambientais (chuva ácida) em ambos os níveis (muito mais desenvolvidas em nível médio), essas conexões raramente são discutidas como problemas a serem resolvidos com os conceitos. Faltam discussões sobre implicações éticas, tecnológicas ou socioambientais, como o papel de tampões em sistemas biológicos ou o impacto de efluentes ácidos/básicos. Essas tensões expõem um dilema central da mediação didática (LOPES, 1997) a simplificação necessária para a aprendizagem inicial pode cristalizar visões reducionistas que dificultam a compreensão aprofundada posterior. Como alerta Bachelard, o conhecimento avança por rupturas, mas a didatização frequentemente as oculta sob narrativas lineares, transformando "obstáculos superados" em "erros a serem evitados".

Nos livros analisados, as críticas às teorias (limitação de Arrhenius ao meio aquoso) são apresentadas como fatos consolidados, não como processos de

retificação que mobilizaram a comunidade científica. Por fim, é notável que a mediação didática de conceitos fundamentais como ácidos e bases não pode resumir-se à seleção hierarquizada de teorias ou à justaposição de níveis de representação. Exige, antes, uma abordagem que preserve a complexidade epistemológica, transformando obstáculos históricos em ferramentas pedagógicas onde as "rupturas" da ciência se tornem oportunidades para compreender sua natureza dinâmica, falível e profundamente humana.

7. Por fim a Dissertação e suas possibilidades:

Com base nas pesquisas feitas para esse trabalho, as considerações finais desta dissertação apontam para reflexões críticas sobre os processos de mediação didática dos conceitos de ácidos e bases. A investigação evidenciou que a mediação do conhecimento científico para os livros didáticos do Ensino Médio e Superior opera por meio de mecanismos de seleção, hierarquização e simplificação que, embora necessários à organização pedagógica, geram distorções epistemológicas significativas. Esses processos tendem a apagar as rupturas históricas e ontológicas que marcaram a construção das teorias científicas, substituindo-as por narrativas lineares e evolutivas que dificultam as ideias sobre a natureza dinâmica e contextual do conhecimento químico.

A persistência de obstáculos epistemológicos, particularmente o substancialista (que reifica conceitos relacionais em propriedades fixas) e o unitário-pragmático (que lineariza a história e prioriza operacionalizações matemáticas em detrimento da compreensão conceitual), mostra um padrão preocupante em ambos os níveis de ensino. Nos livros do Ensino Médio, a predominância da teoria de Arrhenius, associada a descrições comportamentais macroscópicas, reforça visões essencialistas sobre a acidez como qualidade intrínseca das substâncias. Já no Ensino Superior, a centralidade conferida à abordagem de Bronsted-Lowry, mantém reducionismos ao marginalizar a ontologia de processos proposta por Lewis e ao perpetuar representações descontextualizadas (como o íon H^+ isolado). Em ambos os casos, a teoria de Lewis, fundamental para explicar fenômenos não protônicos, é subutilizada ou apresentada como mera extensão, negligenciando sua ruptura com as ideias anteriores.

A fragmentação entre os níveis de representação de Johnstone (macroscópico, submicroscópico e simbólico) acentua essas limitações. A rara articulação dialética entre esses níveis como a desconexão entre equações simbólicas ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$) e seus fundamentos mecanísticos impede uma compreensão integrada dos fenômenos ácido-base. Além disso, a descontextualização das aplicações (seja em exemplos cotidianos, ambientais ou tecnológicos) reforça a percepção da química como uma ciência abstrata, distante de problemas reais, onde diferentes teorias poderiam demonstrar sua complementaridade (TABER, 2019). Tais escolhas didáticas têm implicações pedagógicas profundas. Ao ocultar conflitos e reconstruções teóricas, os materiais analisados dificultam que os estudantes percebam a ciência como uma atividade crítica, marcada por superações de obstáculos. Isso favorece a permanência de concepções alternativas, como a associação exclusiva entre basicidade e íons OH^- ou a dificuldade em reconhecer o caráter relacional da acidez em diferentes contextos.

Diante desses resultados, defende-se que uma mediação didática (Lopes, 1997) responsável deve equilibrar a necessária simplificação pedagógica com a preservação da riqueza epistemológica inerente ao conhecimento científico. Isso implica em abordar as teorias como respostas a problemas específicos, evidenciando que diferentes modelos coexistem por possuírem domínios de aplicabilidade distintos, trazendo também a ideia de integrar os níveis de representação de forma dialética, explicitando como símbolos e equações podem fazer o processo de mediar a compreensão de processos submicroscópicos vinculados a fenômenos observáveis e utilização simbólica (JOHNSTONE, 1892) e transformar rupturas históricas em ferramentas pedagógicas, demonstrando controvérsias e reformulações teóricas como oportunidades para discutir a natureza provisória e contextual da ciência, além da possibilidade de ampliar o repertório de aplicações contextualizadas, articulando conceitos a problemas socioambientais, industriais ou fisiológicos que demandem a mobilização crítica de múltiplas perspectivas teóricas. Dessa forma, essa pesquisa buscou contribuir com o Ensino de Química com o intuito de repensar o ensino de conceitos fundamentais da química não como transmissão de verdades estabelecidas, mas como um espaço de problematização onde os obstáculos epistemológicos, longe de serem evitados, tornam-se catalisadores para uma aprendizagem significativa.

Referências

ABEGG, R. Die Valenz und das periodische System. *Zeitschrift für anorganische Chemie*, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 330-380, 1904.

ACEVEDO-DÍAZ, José Antonio; GARCÍA-CARMONA, Antonio; ARAGÓN, María del Mar. Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. **Educación Química**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 140-146, jul. 2017. Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

ANDRADE, João Carlos de. Química analítica básica: os conceitos acido-base e a escala de pH. *Revista Chemkeys*, Campinas, n. 1, p. 1 – 6, 2018.

ANTUNES-SOUZA, Thiago; ALEME, Helga Gabriele. Reinterpretando o triângulo de Johnstone: o papel constitutivo da linguagem e suas contribuições para a experimentação no ensino de Química: Reinterpreting Johnstone's triangle: the constitutive role of language and its contributions to experimentation in Chemistry teaching . **Revista Cocar**, v. 19, n. 37, 2023.

ARRHENIUS, Svante. Electrolytic Dissociation. **Journal Of The American Chemical Society**, v. 34, n. 4, p. 353-364, 10 fev. 1912.

ARRHENIUS, Svante. Über die Dissociation der in Wasser gelosten Stoffe. **Zeitschrift Für Physikalische Chemie**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 631-648, 1 fev. 1887. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.1515/zpch-1887-0164>.

BACHELARD, Gaston. **A filosofia do não**. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise. Tradução de Estrela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. Tradução: Luís A. Reto e Augusto Pinheiro. 70. ed. Lisboa: Edições, 1977. p. 229.

BELL, Ronald Percy. **Acids and Bases: Their Quantitative Behavior**. Methuen & Co., London, 1947.

BELTRAN, Maria Helena Roxo. Ácidos, bases e a identidade da ciência química. **Revista Brasileira de História da Ciência**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 726-738, 19 dez. 2024. Sociedade Brasileira de Historia da Ciencia.

BERZELIUS, J. J. **Theory of Chemical Proportions and the Chemical Action of Electricity**. London: W. Phillips, 1814.

BÔAS, Claudia Santos do Nascimento Vilas; SOUZA FILHO, Moacir Pereira de. EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E A APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RESSONÂNCIA. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 40-58, 2018.

BOHR, Niels. XXXVII. On the constitution of atoms and molecules. **The London, Edinburgh, And Dublin Philosophical Magazine And Journal Of Science**, [S.L.], v. 26, n. 153, p. 476-502, set. 1913. Informa UK Limited.

BONTEMS, Vincent. L'actualité de l'épistémologie historique. **Revue D'Histoire Des Sciences**, [S.L.], v. 59, n. 1, p. 137-147, 1 jun. 2006. CAIRN.

BOYLE, Robert. **The Sceptical Chymist**. Londres: Dawsons Of Pall Mall, 1661.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília: MEC/SEMTEC, 1999.

BRONSTED, J.N. Rec. Trav .Chim. 1923, 42, 718; J. Phys. Chem. 1926, 30, 777; Chem. Rev. 1928, 5, 231

CARVALHO, Anna Maria Pessoa. **O Ensino de Ciências e A Proposição de Sequências de Ensino Investigativo**. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

CASTAÑON, Gustavo Arja. Psicologia como Ciência Moderna: vetos históricos e status atual. **Temas em Psicologia**, Juiz de Fora, Mg, v. 17, n. 1, p. 21-36, 2009.

CAVALCANTE, Livia Teixeira Canuto; OLIVEIRA, Adélia Augusta Souto de. MÉTODOS DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA NOS ESTUDOS CIENTÍFICOS. **Psicologia em Revista**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 83-102, 13 abr. 2020. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

CEDRAN, Débora Piai; CEDRAN, Jaime Costa; KIOURANIS, Neide Maria Michellan. A importância da simbologia no ensino de Química e suas correlações com os aspectos macroscópicos e moleculares. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 9, n. 4, p. 38-57, 2018.

CELESTINO, José Marcos Lopes. **Análise de aspectos da contextualização, do nível macroscópico, submicroscópico e simbólico em textos sobre "Cinética Química" de livros de Química Geral do ensino superior**. 2021. 148f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

CHAGAS, Aécio Pereira. O ensino de aspectos históricos e filosóficos da Química e as teorias ácido-base do século XX. **Química Nova**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 126-133, fev. 2000. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422000000100023>.

CHAGAS, Aécio Pereira. Teorias ácido-base do século XX. **Química nova na escola**, v. 9, p. 28-30, 1999.

CHOPPIN, Alain. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Revista Educação e Pesquisa**, v.30, n.3, p. 549-566, set./dez. 2004. Tradução de Maria Adriana C. Cappello.

CONFORTO, Edivandro Carlos; AMARAL, Daniel Capaldo; SILVA, Sérgio Luis da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de

produtos e gerenciamento de projetos. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 8., 2011, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Cbgdp, 2011. p. 1-12.

COULSON, Charles Alfred. **Valence: Theory chemistry** 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1961.

DA SILVA, Vitória Schiavon. **Trajetória e construção do conceito de Ligações Químicas de Gilbert Lewis: uma discussão a partir da Epistemologia e do Ensino de Química**. 2022. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

DAHLBERG, Ingetraut. Brief Communication: How to improve ISKO's standing: Ten desiderata for knowledge organization. **KO KNOWLEDGE ORGANIZATION**, v. 38, n. 1, p. 68-74, 2011.

DAHLBERG, Ingetraut. Teoria do Conceito. **Ciência da Informação**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 101-107, dez. 1978.

DALTON, John. Versuche über die Verdunstung. **Physik**, Manchester, v. 1, n. 10, p. 121-143, jan. 1803.

DAVY, Humphry. *Electrochemical Researches*. London: J. Johnson, 1808.

FARADAY, Michael. VI. Experimental researches in electricity.-Seventh Series. **Philosophical Transactions Of The Royal Society Of London**, [S.L.], v. 124, n. , p. 77-122, 31 dez. 1834. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1834.0008>.

FERNANDES, Maria Angélica Moreira; PORTO, Paulo Alves. Investigando a presença da história da Ciência em livros didáticos de Química. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 420-429, jul. 2011.

FIGUEIRA, Angela Carine Moura. **Investigando as concepções dos estudantes do ensino fundamental ao superior sobre ácidos e bases**. 2010. 77 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Química, Centro de Ciências Naturais e Exatas Programa de Pós Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

FLOOD, Hakon; FORLAND, T.; SILLÉN, Lars Gunnar; LINNASALMI, Annikki; LAUKKANEN, Pentti. The Acidic and Basic Properties of Oxides. **Acta Chemica Scandinavica**, [S.L.], v. 1, p. 592-604, 1947. Danish Chemical Society.

FRANCO, Maria Laura Puglisi Barbosa. **Análise de conteúdo**. 5 ed. Brasília: Liber Livro Editora, 2021.

FRANKLIN, Edward Curtis. REACTIONS IN LIQUID AMMONIA.1. **Journal Of The American Chemical Society**, [S.L.], v. 27, n. 7, p. 820-851, jul. 1905. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ja01985a002>.

FREITAS, Maria Teresa de Assunção. A abordagem sócio-histórica como orientadora da pesquisa qualitativa. **Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, v. 1, n. 116, p. 21-39, jul. 2002.

FRISON, Marli Dallagnol; VIANNA, Jaqueline; CHAVES, Jéssica Mello; BERNADI, Fernanda Naimann. Livro didático como instrumento de apoio para construção de proposta de ensino de Ciências Naturais. **Encontro Nacional de Pesquisa em Ciências**, v. 7, p. 1-13, 2009.

GAGLIARDI, Raúl. Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. **Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 30-35, 25 out. 2006. Universitat Autònoma de Barcelona. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5187>.

GIBBS, Josiah Willard. On the equilibrium of heterogeneous substances. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences, [S.L.], v. 3, p. 108-248, 1876.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar Projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GILBERT, John K.; TREAGUST, David F.. Introduction: macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them. **Models And Modeling In Science Education**, [S.L.], p. 1-8, 2009. Springer Netherlands.

GILLESPIE, Ronald James. **Molecular Geometry**. London: Van Nostrand Reinhold, 1970.

GUTMANN, Viktor. Empirical parameters for donor and acceptor properties of solvents. **Electrochimica Acta**, [S.L.], v. 21, n. 9, p. 661-670, set. 1976. Elsevier BV.

HARDY-VALLÉE, Benoît. Que é um conceito? São Paulo: Parábola, 2013. 125 p.

HEIDEGGER, Martin. Ontologia: hermenêutica da facticidade. Tradução de Renato Kirchner. Petrópolis: Vozes, 2013.

HELMHOLTZ, Hermann von. **Wissenschaftliche Abhandlungen**, Leipzig: Johann Ambrosius Barth. 1882

HODSON, Daniel. Philosophy of science and science education, in: Matthews, M. R. (Org.). History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings. Toronto: OISE Press, 1992.

HOFFMANN, Roald. Under the Surface of the Chemical Article. **Angewandte Chemie International Edition In English**, [S.L.], v. 27, n. 12, p. 1593-1602, dez. 1988. Wiley.

HOLMYARD, Eric John. **Alchemy**. Middlesex: Penguin Books, 1957.

HUND, Friedrich. Zur Deutung der Molekelspektren. III. **Zeitschrift FÜR Physik**, [S.L.], v. 43, n. 11-12, p. 805-826, nov. 1927. Springer Science and Business Media LLC.

JENSEN, William B.. **Os conceitos ácido-base de Lewis**: uma visão geral. Nova Iorque: Wiley, 1980.

JOHNSTONE, Alex H. Teaching of chemistry – logical or psychological? **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 1 n. 1, p. 9-15, 2000.

JOHNSTONE, Alex. Macro and microchemistry. **School Science Review**, v. 64, n. 227, p. 377-379, 1982. 26 fev. 2024.

KAUFFMAN, George B. Alfred Werner: Founder of Coordination Chemistry. Berlin: Springer, 1974.

KIOURANIS, Neide Maria Michellan; BATISTON, Weliton Pedro; DA SILVA, Camila Fontes Neves. **Compreensão da linguagem química simbólica por alunos de ensino médio. Em: XVI Encontro Nacional de Ensino de Química**, 2012. Anais do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2012.

KOHLRAUSCH, Friedrich. Ueber Thermoelektricität, Wärme- und Elektrizitätsleitung. **Annalen Der Physik**, [S.L.], v. 232, n. 12, p. 601-618, jan. 1875. Wiley.

KOUSATHANA, Margarita. History of chemistry in education. *Science & Education*, [S.L.], v. 14, n. 3-5, p. 393-410, 2005.

KOUSATHANA, Margarita; DEMEROUTI, Margarita; TSAPARLIS, Geoegios. Instructional Misconceptions in Acid-Base Equilibria: An Analysis from a History and Philosophy of Science Perspective. **Science & Education**, v. 14, p. 173-193, 2005.

LAIDLER, Keith J. The World of Physical Chemistry. **Oxford University Press**, [S.L.], 3 jun. 1993. Oxford University PressOxford.

LANGMUIR, Irving. The arrangement of electrons in atoms and molecules. *Journal of the American Chemical Society*, [S.L.], v. 41, n. 6, p. 868-934, 1919.

LAUKKANEN, Pentti. The Acidic and Basic Properties of Oxides. **Acta Chemica Scandinavica**, [S.L.], v. 1, p. 592-604, 1947. Danish Chemical Society.

LAVOISIER, Antoine Laurent. **Traité élémentaire de chimie**. Paris: Chez Cuchet, 1789.

LEWIS, Gilbert Newton. Introductory address: Valence and the electron. **Transactions of the Faraday Society**, p. 452-458, 1923b.

LEWIS, Gilbert Newton. **The atom and the molecule**. *Journal of the American Chemical Society*, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 762-785, 1916.

LEWIS, Gilbert Newton. **Valence and the Structure of Atoms and Molecules**. New York: Chemical Catalog Company, 1923a.

LIEBIG, Justus Von. Ueber die Constitution der organischen Säuren. *Annalen der Pharmacie*, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 113-189, 1838.

LIMA, Cintia Maria Carneiro Franco; SILVA, José Luis de Paulo Barros. Contribuições do Desenvolvimento Histórico-Cultural dos Conceitos de Ácido e de Base para o Ensino de Química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 20, n. 1, p. 157-191, 10 jan. 2020.

LIMA, Claudiane; MORADILLO, Edilson Fortuna de. Ácidos e Bases nos Livros Didáticos: Ainda Duas das Quatro Funções da Química Inorgânica? **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 41, n. 3, p. 242-247, ago. 2019.

LIMA, Claudiane; PINHEIRO, Barbara Carine Soares; MORADILLO, Edilson Fortuna de. A apropriação dos conceitos Ácidos e Bases e a Pedagogia Histórico-Crítica: uma interlocução em sala de aula. **Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Águas de Lindóia, v. 1, n. 1, p. 1- 8, nov. 2015.

LIMA, Julian da Silva; COSTA, David Antônio da. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um mapeamento teórico entre os anos de 2013 a 2022. *Ens. Tecnol. R.*, Londrina, v. 7, n. 2, p. 611-624, maio/ago. 2023.

LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro; AGUIAR JÚNIOR, Orlando; CARO, Carmen Maria de. A formação de conceitos científicos: Reflexões a partir da produção de livros didáticos. **Ciência & Educação, Bauru**, v. 17, n. 8, p. 855-871, fev. 2011.

LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro; BARBOZA, Luciana Caixeta. Idéias estruturadoras do pensamento químico: uma contribuição ao debate. **Química Nova na Escola**, n.21, p.39-43, 2005.

LÔBO, Soraia; MORADILLO, Edilson. Epistemologia e a formação docente em Química. *Química Nova na Escola*, n. 17, maio, 2013, p.39-41.

LOGUERCIO, Rochele de Quadros.; DELPINO, José Cláudio. Em defesa do filosofar e do historicizar conceitos científicos. *História da Educação*, p. 67-96, 2007.

LOPES, Alice Casimiro. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, Florianópolis. v. 13, n. 3, p. 248-273, dez. 1996.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Conhecimento escolar em química: processo de mediação didática da ciência. **Química Nova**, [S.L.], v. 20, n. 5, p. 563-568, out. 1997.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas ao Aprendizado da Ciência Química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 74, n. 177, p. 309-334, jun. 1993.

LOWRY, Thomas Martin. (1923). The uniqueness of hydrogen. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 42(3), 43-47.

LUX, Hermann. "Säuren" und "Basen" im Schmelzfluss: die bestimmung der sauerstoffionen :konzentration. **Zeitschrift Für Elektrochemie Und Angewandte Physikalische Chemie**, [S.L.], v. 45, n. 4, p. 303-309, abr. 1939. Wiley.

MAAR, Juergen Heinrich. **Pequena história da química**: uma história da ciência da matéria. Florianópolis: Papa-Livro, 1999.

MACIEL, Caroline Alexandre; PEREIRA, Eduarda Ramos; MARCELINO, Daniela; CUNHA, Greice Kely dos Santos Bazani; GOULART, Helen; MOTTA, Marcela de Jesus; ROMANCINE, Vanessa Martins. A ONTOLOGIA E HERMENÊUTICA EM HEIDEGGER. **Seminário de Filosofia e Sociedade**, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2017.

MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação (Bauru)**, Bauru, v. 11, n. 2, p. 305-317, ago. 2005.

MARTINS, Roberto Andrade. Introdução: A História das Ciências e seus usos na educação. In: Silva, C.C. (Org.) Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo. Brasil: Livraria da Física. p. 245-264. 2006.

MATTHEWS, Michael Robert. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, 12, n. 3, 1995. 164-214.

MATTHEWS, Michael Robert. Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. **Revista Enseñanza de Las Ciencias**, v. 12, n. 2, p. 255-271, 1994.

MENDONÇA, Ana Maria Gonçalves Duarte; PEREIRA, Darling de Lira. ENSINO DE QUÍMICA: realidade docente e a importancia da experimentação para o processo de aprendizagem. **Realize**, Campina Grande, 2015.

MORTIMER, Eduardo Fleury. A EVOLUÇÃO DOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DESTINADOS AO ENSINO SECUNDÁRIO. **em Aberto**, Brasília, v. 7, n. 40, p.25-41, dez. 1988.

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**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

MULLIKEN, Robert Sanderson. Electronic Structures of Polyatomic Molecules and Valence. II. General Considerations. **Physical Review**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 49-71, 1 jul. 1932. American Physical Society (APS). <http://dx.doi.org/10.1103/physrev.41.49>.

MUSHER, Jeremy. The chemistry of hypervalent molecules. *Angewandte Chemie International Edition*, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 54-68, 1969.

NUNES, Albino Oliveira; DANTAS, Josivânia Marisa; OLIVEIRA, Anselmo de; HUSSEIN, Fabiana Roberta Gonçalves e Silva. Revisão no Campo: O Processo de Ensino-Aprendizagem dos Conceitos Ácido e Base entre 1980 e 2014. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 185-196, fev. 2016.

ORLANDIN, Geane Caroline; SOUSA, Robson Simplicio de; GALIAZZI, Maria do Carmo. Linguagem da química na educação química. **Travessias**, Cascavel, v. 17, n. 1, p. 1-17, 28 abr. 2023. Universidade Estadual do Oeste do Parana - UNIOESTE.

OSTWALD, Wilhelm. Studien zur chemischen Affinität. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1884.

PAIK, Seoung-Hey. Understanding the relationship among Arrhenius, Bronsted–Lowry, and Lewis theories. **Journal of chemical education**, v. 92, n. 9, p. 1484-1489, 2015.

PAIK, Seoung-Hey. Understanding the Relationship Among Arrhenius, Bronsted–Lowry, and Lewis Theories. **Journal Of Chemical Education**, [S.L.], v. 92, n. 9, p. 1484-1489, 28 jul. 2015. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ed500891w>.

PARSON, Alfred Locke. **A Magnetron Theory of the Structure of the Atom**. Washington: Smithsonian Institution, 1915.

PAULING, Linus. The Nature of the Chemical Bond. 3. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1960.

PAULING, Linus. THE NATURE OF THE CHEMICAL BOND: application of results obtained from the quantum mechanics and from a theory of paramagnetic susceptibility to the structure of molecules. **The Nature Of The Chemical Bond**, California, v. 53, n. 280, p. 1367-1400, fev. 1931.

PEARSON, Ralph Gottfrid. Hard and Soft Acids and Bases. **Journal Of The American Chemical Society**, [S.L.], v. 85, n. 22, p. 3533-3539, nov. 1963. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ja00905a001>.

PIMENTEL, George Claude. The Chemical Bond: A Brief Introduction to Its Modern Theory. San Francisco: W. H. Freeman, 1960.

PINHEIRO, Bárbara Carine Soares; BELLAS, Renata Rosa Dotto; SANTOS, Lílían Moreira dos. Teorias Ácido-Base: aspectos históricos e suas implicações pedagógicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 2016, Florianópolis, Sc. **Anais**. Florianópolis: Eneq, 2016. p. 1-11.

PROUST, Joseph-Louis. Recherches sur le bleu de Prusse. **J Phys**, v. 45, p. 334-335, 1794.

PULLMAN, Bernard. The Atom in the History of Human Thought. Oxford: Oxford University Press, 1998.

ROCHA, Hoziam Hudson Xavier. **A contextualização e a interdisciplinaridade no ensino de Química: uma análise de livros didáticos ACIDO-BASE e das propostas pedagógicas realizadas pelos docentes diante da temática**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado em Físico-Química; Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

RODRIGUES, Gustavo Matheus de Oliveira; RODRIGUES JUNIOR, Edmundo; OLIVEIRA, Paulo José Pereira de. A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA: uma revisão de literatura. **Caderno de Física da Uefs**, Feira de Santana, Ba, v. 18, p. 1-23, abr. 2020.

RODRIGUES, Tavane; DA SILVA, Fernanda Karolaine; PASTORIZA, Bruno; Sangiogo, Fábio; SOARES, Alessandro; DA SILVA, Vitoria. Análise sobre as formas de apresentação do conhecimento químico: o conceito de ligações químicas em livros didáticos. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 44, p. 428-438, 12 set. 2022.

ROSA, Paulo Ricardo da Silva. **Uma Introdução a Pesquisa Qualitativa em Ensino de Ciências**. Campo Grande: UFMS, 2013.

ROZESTRATEN, Artur Simões. Considerações sobre “A Formação do Espírito Científico” para o Século XXI | Considerations on. **Oculum Ensaios**, São Paulo, v. 17, p. 1, 29 set. 2020. Cadernos de Fe e Cultura, Oculum Ensaios, Reflexão, Revista de Ciências Médicas e Revista de Educação da PUC-Campinas.

RUSSEL, John Blair. **Química Geral**. 2. Ed. V.1, Pearson 1994

SANGIOGO, Fábio André. **A elaboração conceitual sobre representações de partículas submicroscópica em aulas de Química da educação básica: Aspectos pedagógicos e epistemológicos**. 2014. 291 f. Tese - Curso de Química, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SANTOS, Diego Marlon; NAGASHIMA, Lucila Akiko. La epistemologia de gaston bachelard y sus contribuciones a la enseñanza de la química. **Paradigma**, Paranaíba, Pr, v. 36, n. 2, p. 37-47, maio 2015.

SANTOS, Guilherme Brahm dos; BARDINI, Laura da Silva; PASTORIZA, Bruno dos Santos. **EVIDENCIANDO DISCUSSÕES FUNDAMENTAIS NO ENSINO DE QUÍMICA: O CASO DAS LIGAÇÕES QUÍMICAS**. In: Anais do 20º Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ Pernambuco). Anais Recife (PE) UFRPE/UFPE, 2020.

SANTOS, Guilherme Brahm dos; BARDINI, Laura da Silva; PASTORIZA, Bruno dos Santos. Mapeando os conceitos fundamentais no Ensino de Química. In: ENCONTRO DE DEBATES SOBRE O ENSINO DE QUÍMICA, 39., 2019, Lajeado. **Anais [...]**. Lajeado: Univates, 2019. p. 704-711.

SANTOS, Laíce Cristina da Silva. **ÁCIDOS E BASES: CONSTRUÇÃO DO CONCEITO E APRESENTAÇÃO NOS LIVROS DIDÁTICOS**. 2021. 20 f. TCC (Doutorado) - Curso de Licenciatura em Química, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Teresina, 2021.

SCERRI, Eric. The Periodic Table: Its Story and Its Significance. Oxford: Oxford University Press, 2007.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco. Apontamentos sobre a história do ensino de química no Brasil. In: SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MALDANER, Otavio Aloisio. **Ensino de Química em foco**. Ijuí: Unijui, 2011. Cap. 2, p. 58.

SCHRODINGER, Erwin. An Undulatory Theory of the Mechanics of Atoms and Molecules. **Physical Review**, [S.L.], v. 28, n. 6, p. 1049-1070, 1 dez. 1926. American Physical Society (APS). <http://dx.doi.org/10.1103/physrev.28.1049>.

SERVOS, John William. Physical Chemistry from Ostwald to Pauling: The Making of a Science in America. Princeton: Princeton University Press, 1990.

SHAMOS, Morris Herbert. The myth of scientific literacy. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press. 1995.

SILVA, José Luis de Paula Barros; LIMA, Cintia Maria Carneiro Franco. Contribuições do Desenvolvimento Histórico-Cultural dos Conceitos de Ácido e de Base para o Ensino de Química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S.L.], p. 157-191, 2 abr. 2020. Revista Brasileira de Pesquisa em Educacao em Ciencia. <http://dx.doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u157191>.

SILVA, Marcos Paulo da; SANTIAGO, Maria Antonieta. Proposta para o ensino dos conceitos de ácidos e bases: construindo conceitos através da história da ciência combinada ao emprego de um software interativo de livre acesso. **História da Ciência e Ensino: Construindo interfaces**, S.I, v. 5, n., p. 48-82, 08 jun. 2012.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C e ABBOTT, M. M. **Introdução à termodinâmica da engenharia Química**. Editora LTC, 5ª edição, 2000.

SOUZA, Cleuzane Ramalho de; SILVA, Fernando César. Discutindo o contexto das definições de ácido e base. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 14-18, fev. 2018. Sociedade Brasileira de Química (SBQ).

SOUZA, Cristina; SILVA, F. Discutindo o contexto das definições de ácido e base. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 14-18, 18 fev. 2017.

SOUZA, Felipe de Moura; ARICÓ, Eliana Maria. Mapa cronológico da evolução das definições ácido-base: um potencial material de apoio didático para contextualização histórica no ensino de química. **Educación Química**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 2-10, jan. 2017. Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

SZABADVÁRY, F. History of Analytical Chemistry. Oxford: Pergamon Press, 1966.

TABER, Keith. Exploring the language(s) of chemistry education. Chemical Education Research and Practice, v. 16, p. 193 – 197, 2015.

TABER, Keith. Conceptual confusion in the chemistry curriculum: exemplifying the problematic nature of representing chemical concepts as target knowledge. **Foundations Of Chemistry**, v. 22, n. 2, p. 309-334, 26 set. 2019. Springer Science and Business Media LLC.

TABER, Keith. **Teaching secondary chemistry**. 2. ed. Londres: Hodder Education, 2012.

TESSER, Gelson João. Principais linhas epistemológicas contemporâneas. **Educar em Revista**, [S.L.], n. 10, p. 91-98, dez. 1994. FapUNIFESP (SciELO).

THOMSON, Joseph John. XL. Cathode Rays. **The London, Edinburgh, And Dublin Philosophical Magazine And Journal Of Science**, [S.L.], v. 44, n. 269, p. 293-316, out. 1897. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/14786449708621070>.

TOZONI-REIS, Marília Freitas de Campos. **Metodologia da Pesquisa**. 2. ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2009

USANOVICH, Michail Illyich. On acids and bases. **General Chemistry**, p. 182–192, 1939.

VAN'T HOFF, Jacobus Henricus. **Une propriété générale de la matière diluée**. 1886.

VASCONCELLOS, Celso dos Santos **Construção do conhecimento em sala de aula**. São Paulo: Libertad, 1993.

WARTHA, Edson José; GUZZI FILHO, Neurivaldo José de; DE JESUS, Raildo Mota. O experimento da gota salina e os níveis de representação em química. **Educación química**, v. 23, n. 1, p. 55-61, 2012.

WERNER, Alfred. Ueber Hydroxylaminessigsäure und Derivate derselben. **Berichte Der Deutschen Chemischen Gesellschaft**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 1567-1571, maio 1893. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/cber.18930260274>.

WILKINSON, Geoffrey. The preparation and properties of transition metal complexes. *Journal of the Chemical Society*, [S.L.], p. 3199-3212, 1952.

ZANOTTO, Ricardo Luiz; SILVEIRA, Rosemari Monteiro Castilho Foggatto; SAUER, Elenise. Ensino de conceitos químicos em um enfoque CTS a partir de saberes populares. **Ciência & Educação, Bauru**, v. 22, n. 3, p. 727-740, set. 2016.