

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS DE ARARAQUARA  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE  
NACIONAL

Título da dissertação  
“Uma revisão sistemática: ligação química no ensino médio sob a óptica  
da história da ciência”

**Josiane Mágio dos Santos**

Dissertação de Mestrado



**PROFQUI**  
PROGRAMA DE MESTRADO  
PROFISSIONAL EM QUÍMICA  
EM REDE NACIONAL  
Araraquara  
2021

Josiane Mágio dos Santos

“Uma revisão sistemática: ligação química no ensino médio sob a óptica da história da ciência”

Dissertação apresentada ao Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Cebim

Araraquara  
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

S237u Santos, Josiane Mágio dos  
Uma revisão sistemática: ligação química no ensino médio sob a óptica da história da ciência / Josiane Mágio dos Santos. – Araraquara : [s.n.], 2021  
103 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química  
Orientador: Marco Aurélio Cebim

1. Revisão sistemática. 2. Ciência - História. 3. Ligações químicas. 4. Ensino médio. 5. Ciência - Estudo e ensino.  
I. Título.

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "Uma revisão sistemática: ligação química no ensino médio sob a óptica da história da ciência"

**AUTORA: JOSIANE MAGIO DOS SANTOS**

**ORIENTADOR: MARCO AURELIO CEBIM**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em QUÍMICA EM REDE NACIONAL, área: Química pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARCO AURELIO CEBIM (Participação Virtual)  
Departamento de Química Analítica, Físico-Química e Inorgânica / Instituto de Química - UNESP - Araraquara



Prof. Dr. RICARDO CASTRO DE OLIVEIRA (Participação Virtual)  
Química / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Câmpus Catanduva



Profa. Dra. PRESCILA GLAUCIA CHRISTIANINI BUZOLIN (Participação Virtual)  
Departamento de Matemática / Faculdade de Ciências - UNESP - Bauru

Araraquara, 29 de janeiro de 2021

*Dedico esta dissertação a Deus, não poderia ser diferente. Ele sempre esteve comigo e nunca se esqueceu de me levantar todas as vezes que estive no chão, sem forças para lutar e querendo abandonar todos os meus sonhos. Foi pela sua graça e misericórdia que concluo mais esta etapa da minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Quantos agradecimentos eu tenho, meu coração se enche de gratidão por ter chegado ao final desta dissertação. Não foi fácil concluir, foram inúmeras vezes que passaram em minha mente “- por que fui começar a fazer o mestrado?”, no entanto digo que o desejo em desistir não foi maior do que a gana em terminar.*

*Obrigada Deus, por ter ouvido as minhas orações, porque eu peço por este título há 15 anos, e o tempo passou, foram muitas lágrimas e dores, e eu já havia até me esquecido deste sonho, mas o Senhor não se esqueceu e me levou a concretizá-lo.*

*Aos meus companheiros do PROFQUI: Bruno, Camila, Diego, Karina, Marisa e Rodrigo. Em especial ao Bruno pela ajuda na formatação e à Camila por ser minha companheira de mestrado e trabalho docente. Foram imprescindíveis para a permanência e realização desta dissertação, pois sempre dispostos a ajudar no que fosse preciso. Ao meu orientador Prof. Dr. Marco Aurélio Cebim, por ter aceitado o desafio de orientar uma pesquisa na área do Ensino e pela paciência comigo.*

*Ao Prof. Dr. Amadeu Moura Bego por toda dedicação ao ensino e por ser um exemplo de profissional. Tive o prazer de estudar com ele na graduação e depois a grande satisfação de tê-lo como professor, realmente é uma pessoa esplêndida que me ensinou muito tanto lá na licenciatura 2000, quanto aqui no PROFQUI 2017.*

*Tenho que agradecer em especial a minha amiga Tatiane Inforzato que me auxiliou na revisão sistemática e a nas dicas de escrita do meu texto.*

*Como não agradecer a minha família! Minha mãe, que mesmo não residindo na mesma cidade, sempre me deu muito apoio. Meu marido Róbison, por suportar tanto mal humor, choros e ataques de fúria. Ele sempre esteve presente me incentivando e ajudando nos momentos mais difíceis, com a sua paciência ou melhor com o seu esforço para ser paciente, por sua parceria e companheirismo.*

*Aqui vem o agradecimento a um menininho que esteve estritamente em todos os momentos deste mestrado, o meu filho de 4 anos. Quando comecei este mestrado, o Bernardo tinha 1 ano e 10 meses, quando tive que estudar para as avaliações e seminários das disciplinas, ele estava ali do meu lado brincando. Eu olhava para ele e dizia: “- Mamãe não vai desistir”. Neste período de escrita da dissertação, que aconteceu no ano 2020, em plena pandemia, ele esteve em casa comigo, eu pedia silêncio e ele fazia, realmente parecia entender que este trabalho era muito importante para mim. Permanecia o tempo todo brincando e me transmitindo alegria para não desanimar.*

*Amo muito a Deus por ter me dado um marido que acredita mais em mim do que eu mesma, e, um filho que exala alegria.*

*Por fim, obrigada ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).*

*“Não perca tempo invejando os outros, reinvente-se! Não se conserta o passado só  
o futuro.”*  
*Augusto Cury*

*“Há tempo de nascer, e tempo de morrer; tempo de plantar, e tempo de arrancar o  
que se plantou;”*  
*“Tempo de espalhar pedras, e tempo de ajuntar pedras; tempo de abraçar, e tempo  
de afastar-se de abraçar;”*  
*Ec 3: 2,5*

## Resumo

Para melhorar a qualidade da Educação em Química no ensino médio, busca-se vieses que possibilitem um currículo reflexivo que alcance a alfabetização científica dos alunos. De acordo com documentos oficiais e orientadores da educação e pesquisas científicas, a História da Ciência apresenta um possível potencial para que a química deixe de ser uma disciplina escolar distante da realidade dos alunos, e passe a ter maior atratividade e coerência com a formação crítico-social do estudante. O objetivo foi fazer um levantamento das investigações e identificar propostas de material e/ou intervenção pedagógica, que utilizaram a História da Ciência na temática 'ligações químicas' para o ensino médio. Portanto, foi feita uma Revisão Sistemática (RS) no período de janeiro de 2010 a junho de 2020 para identificar os estudos publicados em base de dados, revistas nacionais e internacionais. Foram encontrados inicialmente 76 trabalhos e por fim chegou-se a seis. Destes, três estudos internacionais que responderam aos objetivos, e, outros três, sendo dois deles nacionais, que apresentaram elementos históricos com potencial para a elaboração de futuros materiais didáticos. Concluiu-se que, embora existam orientações curriculares para incluir aspectos históricos, filosóficos, sociais e econômicos no ensino de química, pouco ou quase nada está sendo feito para uma transformação na prática docente. Um possível motivo para que a mudança não vem ocorrendo, é a falta de materiais pedagógicos de apoio que tragam perspectivas da História da Ciência, dentro de temáticas considerando conceitos chave da química, como a ligação química.

**Palavras-chave:** revisão sistemática, história da ciência, ligação química, ensino médio.

## Abstract

To improve the quality of Chemistry Education in high school, biases are sought to enable a reflective curriculum that achieves the scientific literacy of students. According to official documents and advisors of education and scientific research, the History of Science presents a possible potential for chemistry to cease being a school subject far from the reality of students, and to become more attractive and coherent with the critical-social formation of the student. The objective was to survey the research and identify proposals for material and/or pedagogical intervention, which used the History of Science in the theme 'chemical bond' for the high school. Therefore, a Systematic Review (SR) was made in the period from January 2010 to June 2020 to identify the studies published in national and international databases and journals. 76 works were initially found and finally there were six. Of these, three international studies were found that responded to the objectives, and three others, two of them national, that presented historical elements with potential for the elaboration of future didactic materials. It was concluded that, although there are curricular guidelines to include historical, philosophical, social and economic aspects in the teaching of chemistry, little or almost nothing is being done for a transformation in teaching practice. A possible reason why change is not occurring is the lack of pedagogical support materials that bring perspectives to the History of Science, within themes considering key concepts of chemistry, such as the chemical bond.

**Keywords:** systematic review, history of science, chemical bond, high school.

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Organograma das possibilidades metodológicas de uma revisão sistemática. ....	70
<b>Figura 2.</b> Fluxograma do processo de busca e seleção de artigos.....	71
<b>Figura 3.</b> Fluxograma das etapas utilizadas para a RS. ....	73
<b>Figura 4.</b> Resultado da busca e seleção de artigos.....	87

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1.</b> Ordem das revistas e base de dados pesquisadas para a revisão sistemática. ....	78
<b>Tabela 2.</b> Relação das pesquisas encontradas conforme o título.....	79
<b>Tabela 3.</b> Pesquisas separadas por temas de maior expressividade. ....	83
<b>Tabela 4.</b> Pré-seleção por agrupamento temático. ....	85
<b>Tabela 5.</b> Critérios de avaliação dos estudos analisados. ....	92

## Lista de quadros

<b>Quadro 1.</b> Possíveis visões deformadas da ciência e tecnologia. ....	37
<b>Quadro 2.</b> Etapas para realizar uma pesquisa. ....	68
<b>Quadro 3.</b> Revistas visitadas para a revisão. ....	74
<b>Quadro 4.</b> Artigos selecionados para a síntese narrativa. ....	88
<b>Quadro 5.</b> Características do artigo 14.d. ....	89
<b>Quadro 6.</b> Características do artigo 18.a. ....	90
<b>Quadro 7.</b> Características do artigo 3.a. ....	91
<b>Quadro 8.</b> Características do artigo 11.c. ....	91
<b>Quadro 9.</b> Características do artigo 13.d. ....	91

## Lista de gráficos

<b>Gráfico 1.</b> Agrupamento temático.....	84
<b>Gráfico 2.</b> Artigos selecionados pelo agrupamento temático.....	85

## **Lista de abreviaturas e siglas**

BNCC – Base Nacional Comum Curricular  
CEDOC – Centro de Documentação em Ensino de Ciências  
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
CTS – Ciência-Tecnologia-Sociedade  
CTSA – Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente  
DCNs – Diretrizes Curriculares Nacionais  
DEQ – Divisão de Ensino de Química  
EM – Ensino Médio  
ENEQ – Encontro Nacional de Ensino de Química  
GEPEQ – Grupo de Pesquisa em Educação Química  
HC – História da Ciência  
HFC – História e Filosofia da Ciência  
LDB – Lei de Diretrizes e Bases  
MEC – Ministério da Educação  
PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais  
PCNEM – Parâmetros Curriculares do Ensino Médio  
PIBID – Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência  
PROQUIM – Projeto de ensino de química para o 2º grau  
QNEsc – Química Nova na Escola  
RS – Revisão Sistemática  
SBQ – Sociedade Brasileira de Química  
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

## Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>18</b>
1.1 Estruturação do Ensino de Ciências no Brasil .....	21
1.2 O Ensino de Química como área de investigação .....	24
1.3 Aspectos investigativos da História da Ciência.....	29
1.4 História e Filosofia da Ciência no Ensino.....	31
1.5 História da Ciência e a Alfabetização científica .....	35
1.6 História e Filosofia da Química .....	40
1.7 História e Filosofia da Química no ensino.....	44
1.8 Uma breve história da ligação química .....	51
1.9 História da ligação química e o ensino .....	60
<b>2 Objetivos .....</b>	<b>67</b>
<b>3. Aportes teóricos .....</b>	<b>68</b>
3.1 Revisão da literatura tradicional ou narrativa.....	68
3.2 Revisão Sistemática .....	69
<b>4. Procedimentos metodológicos .....</b>	<b>72</b>
4.1 Etapas da Revisão Sistemática .....	72
<b>5 Resultados e discussão.....</b>	<b>77</b>
5.1 Busca e armazenamento dos resultados.....	77
5.2 Seleção de artigos .....	82
5.3 Extraíndo os dados .....	87
5.4 Avaliação dos estudos .....	92
5.5 Síntese e Interpretação dos dados .....	93
<b>6 Considerações Finais .....</b>	<b>94</b>
<b>Referências .....</b>	<b>98</b>

## **Apresentação**

O ano era 2000, eu estava em um ônibus com o jornal nas mãos, nele continha a relação de aprovados no vestibular da UNESP. Eu estava vivendo um momento tão extasiante, que ao chegar em casa não conseguia parar de sorrir, e disse a minha mãe que o meu nome estava no jornal. Passada toda aquela euforia começamos a planejar nossa viagem, pois o resultado havia saído em uma sexta-feira e a matrícula já era na segunda-feira, nós não conhecíamos a cidade de Araraquara, onde eu iria passar os próximos anos.

Sem muitos recursos, viemos, minha mãe e eu, fazermos a minha matrícula. Ao chegar em Araraquara fiquei encantada pois achei a cidade muito bonita, e ao me deparar em frente ao Instituto de Química me apaixonei, foi aí que eu entendi o porquê não havia passado nos outros vestibulares, eu tinha que estar ali “caloura 2000”. Durante minha matrícula conheci uma das minhas futuras amigas de república, logo depois me levaram para conhecer os ambientes do instituto e todos os laboratórios pareciam campos floridos aos meus olhos, como me encantei pelo lugar.

Após desbravar todo aquele campo de lindos e coloridos laboratórios, minha mãe e eu seguimos para conhecer a república em que eu iria ficar durante a graduação, depois de deixarmos tudo acertado, voltamos para Jales. E nesse período de duas semanas até o início das aulas foi de muita euforia, de despedidas e de fazer as malas. Foi com um frio na barriga que saí de Jales num domingo à tarde com minha mudança, digo mudança porque, devido ao pouco recurso, juntei tudo em uma mala, pois sabia que não retornaria tão cedo. Estava com aquele medo do desconhecido, não sabia direito como chegar na república e muito menos se teria alguém me esperando, embora já estivesse deixado tudo combinado. Já era noite quando pisei na rodoviária de Araraquara, por uma questão financeira novamente, decidi ir de ônibus circular para a república, e guiada por minha memória cheguei até aquela que seria minha nova casa.

A primeira noite em uma casa e pessoas estranhas, que em questão de semanas seria minha família em Araraquara, foi tranquila, fui conhecendo as meninas e aos poucos me adaptando àquela nova rotina de tarefas divididas. Já no primeiro ano do curso comecei iniciação científica, embora estivesse em um curso de licenciatura, não pensava em dar aula, mas essa ideia foi mudando à medida que o tempo passava. O segundo ano veio e eu fui promovida de bixete à veterana. Uau!!!! Foi um ano muito prazeroso, continuava com a iniciação científica e aprendi bastante.

No final deste mesmo ano, que era 2001, estava em Jales para passar o Natal, quando na véspera recebemos a notícia de que meu padrasto havia sofrido um acidente de caminhão, como foi difícil compreender aquele episódio.

Foi a partir daí que comecei a ter um comportamento que até então não era característico da minha pessoa, comecei a fugir. Fugia das atividades, das pessoas e dos lugares, mas não foi algo que percebi rapidamente como parece ser ao escrever.

O final de ano triste havia passado e 2002 estava à porta, logo retornei para Araraquara, por causa da iniciação científica, e no final do ano eu não suportei aquela pressão de laboratório e decidi sair. No entanto, eu era bolsista e precisava da bolsa, foi aí que no meu quarto ano de graduação, fui ser monitora de química geral. Não fiquei muito tempo como monitora, porque foi neste ano de 2003 que tive minha primeira crise de pânico, eu já não ia e nem conseguia ficar muito tempo no Instituto de Química, e olha que gostava de ficar na faculdade.

Como era muito difícil ficar no Instituto e eu precisava exercer alguma atividade remunerada, surgiu a oportunidade, no meu último ano, de ser professora do CUCA em Américo Brasiliense, foi uma experiência fantástica, e assim, já não precisava ir tanto ao IQ, e as poucas vezes que eu ia era muito angustiante. Cheguei a pensar que não conseguiria terminar o curso.

No final de 2004 estava licenciada em química, queria engatar um mestrado, afinal praticamente todos os meus amigos iriam fazer. E foi no segundo semestre de 2005 que ingressei no programa de mestrado em química no Instituto de Química de Araraquara, foi neste período que comecei a namorar aquele que seria meu futuro marido. Com toda a alegria de ter passado na prova do mestrado, pensei que a síndrome do pânico do final da graduação havia sido superada, mas não havia sido.

Durante o mestrado eu sofri, angustiada e desesperada por não saber lidar com aquela situação, eu abandonei o meu sonho, nossa fiquei muito mal, frustrada por não ter ido até o fim. Mas eu cheguei no meu limite, foi quando em 2007 resolvi dar aulas em escolas estaduais. Como foi boa essa mudança, me sentia tão leve, parecia que todo peso havia saído das minhas costas.

Em 2012 fui efetivada na Escola Estadual Bento de Abreu, estou nesta escola dando a minha humilde contribuição para a sociedade como docente, e, é neste ambiente escolar que vivo as maiores provações, pois no nosso ofício somos testados psicologicamente o tempo todo. Durante este período em sala de aula sempre fiz autocríticas a respeito da minha prática docente querendo aperfeiçoá-la.

Foi fazendo essa autorreflexão que me veio à memória o gosto que tinha pelos estudos e a admiração pelos meus professores. E eu estava me tornando justamente uma professora sem perspectiva, como tantos outros colegas de trabalho.

Ao voltar da minha licença maternidade em 2017, avistei, na sala dos professores, um cartaz a respeito de um mestrado profissional para professores de química da rede básica de ensino. Agarrei essa oportunidade de voltar aos estudos e reconstruir-me como pessoa e profissional da educação.

Precisava voltar a ter admiração e crença no poder de transformação da educação. Infelizmente o tempo foi desfazendo dentro de mim, toda ideia de mudança que traz a educação, e, os percalços encontrados no dia a dia de professora de escola pública foram minando aquela ânsia por fazer a diferença como educadora.

Com esse enredo de falta de estímulo eu repensei em tudo o que sonhava para mim como profissional, então, decidi fazer algo que sacudisse a minha prática docente. E, pensando em toda dificuldade dos alunos do ensino médio em compreender química, percebi a necessidade de unir filosofia e química, para instigar um pensamento crítico da ciência. Diversos são os temas que carecem uma abordagem histórica e filosófica da química, mas a que me instigou e instiga é a ligação química.

## 1. Introdução

A relevância de uma pesquisa está nas questões explícitas e implícitas que a motivam para se desenvolver, e é neste Jardim do Éden ao qual se encontra a árvore do conhecimento, que faz brotar a busca incessante por novos saberes, que são inquietudes inerentes dos seres humanos.

A corrida por estratégias e metodologias que trazem um renascimento para o “fazer” escola é incansável, professores que se desdobram para chegar até o aluno de maneira efetiva, é constante. A pergunta que fica é: O que motiva o professor nessa caminhada árdua, de busca por metodologias que o façam obter resultados positivos em sua prática pedagógica? Muitas respostas podem ser dadas, mas uma não deixaria de ser redarguida, é o desejo de revelar o que a árvore do conhecimento pode apresentar, tirando a venda dos olhos dos que habitam no Jardim do Éden.

Os professores para responder seus anseios podem percorrer diversos caminhos, e um deles é a pesquisa, visando um aprimoramento de sua prática pedagógica. Este estudo eclode de uma, dentre várias angústias da prática pedagógica, que é a inserção da História da Ciência na química do ensino médio.

Discussões sobre esta temática introduzida no ensino já eram observadas antes de 1990, porém só a partir desta década (MATTHEWS, 1995) é que ganha espaço em documentos oficiais de educação. No Brasil, foi através de debates sobre a reformulação do ensino, que documentos oficiais orientadores surgiram para os diferentes níveis de educação, isto se deu a partir da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional LDB/1996. Para o ensino médio elaborou-se os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN), com publicação em 1999 e em 2002 a edição do PCN+. Passados vinte anos o que se pode dizer é que as orientações descritas no documento ainda não são perceptíveis no chão da escola.

[...] que o educando seja capaz de compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade. (BRASIL, 2002, p.108).

As competências e habilidades presentes nos documentos oficiais, inclusive no mais atual deles, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que foi homologada em 2018, devem ser trabalhadas na área de ciências da natureza de forma que envolvam

história da ciência, para promover a alfabetização científica. Ainda existe um atraso descomunal da prática com a teoria. Pensando na formação integral<sup>1</sup> do indivíduo é que desabrocha a avidez por uma prática que se aproxime do ser aprendente, deixando a passividade que aparentemente o seu estado se mostra.

É neste aspecto que a aproximação da história e filosofia com a química, pode promover uma cooperação positiva para a compreensão da construção de conceitos tão importantes que são alicerces para o conhecimento de Ciências Naturais do ensino médio. No ensino de química, tem-se uma gama de conteúdos e conceitos estruturantes que poderiam ser analisados quanto aos aspectos históricos e filosóficos abordados em sala de aula, no entanto a escolha desta investigação está voltada para trabalhos da literatura que abordam o tema ligações químicas numa perspectiva de construção conceitual humanística<sup>2</sup>.

Ligação química é um assunto, em sua maioria, abordado no ensino médio de forma desconexa da história da ciência, isto por muitas vezes faz com que os alunos não construam um conhecimento sólido alicerçado pelos conceitos envolvidos no processo de aprendizagem. Como Fernandez e Marcondes (2006, p.20) ressaltam: “O tema ligação química, por ser abstrato, longe das experiências dos alunos, tem, conseqüentemente, grande potencial para gerar concepções equivocadas por parte dos estudantes”.

O processo ensino-aprendizagem requer um envolvimento dos estudantes, para romper barreiras do conhecimento e reconstruir conceitos pré-estabelecidos e formulados durante sua trajetória escolar. Por isso que ao fazer uma reconstrução conceitual a interdisciplinaridade e a contextualização com o cotidiano dos alunos se fazem necessárias.

Na óptica de um professor de educação básica que está em efetivo exercício, a relação entre as pesquisas científicas e o chão da escola quase não existe. O abismo presente entre o que se é produzido em pesquisas científicas, e o que se tem usado dentro das escolas de ensino médio, é exorbitante. Na tentativa de estreitar essa relação foram estabelecidos os seguintes pilares que nortearam o desenvolvimento da pesquisa em questão:

---

<sup>1</sup> Conforme a BNCC é a formação e desenvolvimento global do indivíduo, que não se limita apenas ao cognitivo, mas que esteja em sintonia com as necessidades, possibilidades e interesses dos estudantes.

<sup>2</sup> O que revela erros e acertos das teorias, imprescindíveis para o embasamento científico do conceito de ligação química.

- O conceito de Ligação Química dentro do contexto de ensino de Química é minimamente explorado. A existência de átomos isolados ou formando substâncias é tratado superficialmente, sem a construção de saberes que justifiquem a organização da matéria e os tipos de materiais conhecidos;
- A construção de modelos de Ligação Química depende de uma concepção estruturada de um “modelo atômico”. Nem todos os modelos atômicos são contemplados de maneira consistente e/ou simplesmente não é foco de estudo no Ensino Médio;
- A cada modelo de Ligação Química estabelecido surgem novos conceitos para entidades (constituintes) dos materiais e os processos e transformações químicas são revisitados. A evolução destes conceitos é pouco explorada em todos os níveis do ensino de Química;
- Há uma patente lacuna acerca dos momentos históricos e científicos relativos à segunda metade do Sec. XIX e todo o Sec. XX, momentos nos quais se desenvolveram os alicerces conceituais da Química Moderna;
- A regra do octeto é por muitas vezes usada como regra absoluta para que a ligação química seja efetivada. O que torna muitas vezes o aprendizado de forma mecânica, sem questionamentos críticos da natureza da ligação;
- Há dificuldade em se estabelecer relações do tipo macroscópico/submicroscópico e as consequências da organização de sistemas químicos e suas propriedades macroscópicas. São das propriedades macroscópicas – por vezes palpáveis e passivas de serem verificadas sem auxílio de instrumentação – que emergem a formação e organização dos constituintes dos materiais. Já o nível submicroscópico é representado pelos átomos, moléculas e íons.

A compreensão para todo o desenvolvimento desta pesquisa, vai ser apresentada e estruturada de forma a entender primeiramente, como o ensino de ciências ganhou espaço científico e se tornou uma área de investigação. Depois vai adentrar ao ensino de química, qual o espaço que ocupa e a sua relevância dentro do ensino de ciências. Uma breve trajetória pela História e Filosofia da Ciência será traçada, e o quanto a História e Filosofia da Química se desenvolveu como campo

científico. O capítulo introdutório é finalizado, com um texto sobre o conceito de ligação química, sua história e como este tema tem sido discutido no ensino médio.

Depois vem uma exposição sobre os referenciais teóricos que alicerçam a pesquisa, bem como as proposições que sustentam uma revisão sistemática da literatura.

Aprofundando um pouco mais, a respeito do delineamento e a questão norteadora da pesquisa, vem o capítulo sobre procedimentos metodológicos que destacam aspectos específicos de como conduzir uma investigação com critérios pré-estabelecidos. Serão detalhadas as etapas da revisão sistemática, além de descrever os critérios utilizados para a escolha dos estudos que foram analisados.

Os resultados e discussões trazem as análises críticas e as constatações pertinentes relevantes para o desenvolvimento científico. Neste caso específico, será disposto um panorama sobre o que se tem estudado e proposto a respeito do ensino de ligações químicas no ensino médio, sob uma perspectiva histórica.

Finalizando, uma conclusão contendo uma síntese dos principais achados da pesquisa, além das recomendações e perspectivas futuras para novas investigações derivadas destes achados.

## **1.1 Estruturação do Ensino de Ciências no Brasil**

Em 1930 o sistema educacional brasileiro vinha sofrendo fortes influências internacionais, as ideias escolanovistas<sup>3</sup> traziam na experimentação o ponto alto no ensino de ciências. Na segunda metade da década de 1950, os EUA iniciaram um movimento de renovação da educação científica, enquanto o Brasil inovava com adaptações de materiais didáticos estrangeiros e treinamento para seus professores. (MEGID NETO, 1999).

Nas duas décadas seguintes as pesquisas no Ensino de Ciências estiveram pautadas nas ciências humanas, sendo empíricas e descritivas, com pouco aprofundamento nas questões concretas escolares do processo de ensino-aprendizagem (SCHNETZLER, 2002). As pesquisas tinham caráter quantitativo em relação aos resultados de aprendizagem, não exploravam as interações entre os

---

<sup>3</sup> Pertencente ao movimento Escola Nova, que escreveu o Manifesto da Escola Nova em 1932, com o objetivo de democratização do ensino através de uma escola pública, laica e gratuita. Pois esse era um modelo pedagógico congruente com as necessidades da industrialização.

processos de ensino-aprendizagem, o que fez despertar o interesse dos pesquisadores na década de 1980.

Uma área de conhecimento no cenário científico, culmina quando os debates são frequentes em relação ao não alcance de outras áreas, que já não conseguem abranger a investigação que se torna mais específica e com características singulares.

O desenvolvimento de um novo campo de conhecimento aparece quase sempre associado a condições como: - a existência de uma problemática relevante, susceptível de despertar um interesse suficiente que justifique os esforços necessários ao seu estudo; - o carácter específico dessa problemática, que impeça o seu estudo por outro corpo de conhecimentos já existente e o contexto sócio-cultural, bem como a recursos humanos – condições externas (CACHAPUZ *et al.*, 2001, p.159).

Assim aconteceu com o Ensino em Ciências cujas primeiras investigações serviram para aplicações no campo da Psicologia da Educação (CACHAPUZ *et al.*, 2001), que surgiu como área de pesquisa muito antes das Didáticas específicas, o que forneceu à Didática uma dimensão prática. Portanto, os conhecimentos produzidos a respeito do processo de ensino-aprendizagem eram provenientes da Psicologia da Educação, e as tentativas de aplicação das investigações não eram suficientemente efetivas para os problemas do ensino em ciências.

No início dos anos de 1980 não existiam revistas que representassem a pesquisa sobre Ensino em Ciências, as Faculdades ignoravam os problemas educativos e nas grades curriculares dos cursos não eram introduzidos a investigação educativa. Os grupos de pesquisa não existiam, apenas alguns pesquisadores trabalhavam isoladamente (CACHAPUZ *et al.*, 2001).

Foi nesse contexto que surgiu o primeiro projeto nacional do Ensino em Ciências (MEGID NETO, 1999), os primeiros trabalhos na área com predominância ao ensino superior datam de 1972, com aumento nos outros níveis de ensino na década de 1980 impulsionado pelos programas governamentais de incentivo à melhoria da educação básica.

No início da década de 1990, as pesquisas passaram a incorporar uma característica sócio-interacionista<sup>4</sup> do processo ensino-aprendizagem. Surgiu uma necessidade de que o ensino em ciências se apresentasse mais próximo da realidade do aluno, para que pudesse desenvolver um senso crítico-social no mesmo, por isso

---

<sup>4</sup> Quando é preciso ter interação do conhecimento que será apresentado ao indivíduo com os seus contextos históricos, sociais e culturais.

que desde a década de 1970 existia um movimento de inclusão das questões Ciência, Tecnologia e Sociedade - CTS, em programas educacionais. Inclusive nos cursos de ciências defendia-se a integração das questões tecnológicas, sociais e ambientais para que o aluno tivesse condições de reestruturar seu conhecimento científico de forma a fazer relações com o seu dia a dia. Podendo assim, participar de forma crítica e ativa na sociedade a qual está inserido transformando-a através da tomada de decisões (SCHNETZLER, 2002).

A pesquisa do Ensino em Ciências precisou um pouco mais de uma década para obter um corpo científico, investigação definida, revistas de publicações, conhecimentos utilizados em sala de aula e na formação de professores (CACHAPUZ *et al.*, 2001).

De Jong (2005) aponta que foram nos anos 2000 que a prática docente, os processos de conhecimento e de ensino passaram a ser investigados, utilizando método qualitativo para coleta e análise de dados.

No âmbito nacional, até 1987 ainda não havia bases de dados que reunissem os trabalhos realizados na área do Ensino em Ciências do Brasil. A deficiência de informações conduziu a pesquisa de Megid Neto (1999), que resultou no Centro de Documentação em Ensino de Ciências – CEDOC, vinculado a Faculdade de Educação da UNICAMP, cujo objetivo foi catalogar teses e dissertações. Este catálogo teve o intuito de socializar os conhecimentos que pudessem servir de base para formação inicial e continuada de professores, bem como fontes inovadoras de ensino focando no Ensino Fundamental.

Dentre os focos temáticos destacados por Megid Neto (1999), três apresentam maior relevância para o presente estudo: formação de conceitos, filosofia da ciência e a história da ciência.

- Formação de conceitos: desenvolvimento de conceitos científicos por alunos e/ou professores provocando processos de mudança ou evolução conceitual, comparar modelos de pensamento com os modelos conceituais presentes na história da ciência.
- Filosofia da ciência: relacionado às questões de concepção da ciência, no desenvolvimento das teorias científicas e seus paradigmas.
- História da ciência: resgatam acontecimentos, fatos, debates, conflitos e circunstâncias da produção científica de determinada época.

A pesquisa de Ensino em Ciências está sendo desenvolvida há algumas décadas, enfrentando problemas de aceitação pela comunidade científica por ainda ter trabalhos que não contém uma metodologia bem estabelecida com aportes teóricos sólidos e epistemologicamente estruturada. Contudo, vêm rompendo barreiras na ciência, conquistando um espaço de discussões na comunidade e refletindo em investigações de relevância para a melhoria do ensino em ciências.

Neste mesmo panorama encontra-se o Ensino de Química, com obstáculos a serem enfrentados, como por exemplo, a hostilidade do meio acadêmico das grandes áreas de divisão da Química.

## **1.2 O Ensino de Química como área de investigação**

A Química é uma ciência com mais de duzentos anos que se divide em quatro grandes áreas: orgânica, inorgânica, analítica e físico-química (MÓL; SILVA; SOUZA, 2013), acrescentaria também a bioquímica. No final do século XX o Ensino de Química ganha destaque e se estabelece como área de investigação.

Nascida de uma ciência exata e quantitativa o Ensino de Química inicia-se com esse caráter. No entanto, por unir duas grandes áreas de conhecimento a Educação e a Química, uma abordagem qualitativa se tornou mais pertinente, abrindo o caminho para interpretações das problemáticas de ensino, isto é, da prática docente, dos processos de conhecimento e de ensino (MÓL; SILVA; SOUZA, 2013).

No início, o interesse pelo ensino de química era voltado para o movimento da reforma curricular, que ocorreu principalmente nos Estados Unidos e Inglaterra no início da década de 1960. Os projetos enfatizavam o uso do laboratório para introduzir e explorar problemas, as pesquisas eram apoiadas na psicologia behaviorista<sup>5</sup>, com abordagens quantitativas e estatísticas de resultados (SCHNETZLER, 2002). Apresentava caráter meramente prático ou instrumental, com aplicação de teorias e modelos das Ciências Humanas, principalmente da psicologia. Como estas apresentavam alguns problemas, houve mudanças nos rumos da metodologia, que passou a ser qualitativa com fundamentos na psicologia cognitivista<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup>Surgiu no início do século XX, toma como objeto de estudo o comportamento por si só, que é observado e medido, descartando os pensamentos e as emoções.

<sup>6</sup>Os processos mentais interagem com o ambiente, onde a resignificação, a resolução de problemas, a tomada de decisões depende do meio em que o indivíduo está inserido.

Schnetzler (2002) salienta que na década de 1980 a pesquisa em Ensino de Química ganhou um destaque dentro de uma área maior, o Ensino em Ciências, desenvolvendo que foi impulsionado pelo “movimento das concepções alternativas”<sup>7</sup>, formando assim um novo profissional acadêmico, o pesquisador/a em ensino em ciências/química.

A investigação sobre as "concepções alternativas" colocou em questão a eficácia do ensino por transmissão de conhecimentos previamente elaborados e contribuiu, de uma forma mais geral, para levantar dúvidas sobre as visões simplistas da aprendizagem e do ensino das ciências, como a ideia docente, já referida, de que ensinar é uma actividade simples para a qual basta apenas conhecer a matéria e ter alguma experiência (CACHAPUZ *et al.*, 2001, p. 174).

Pensar em um ensino meramente transmissor de conhecimento pautado único e exclusivamente na figura do professor, nos remete a um passado longínquo ou próximo? Talvez a pergunta poderia ser reformulada da seguinte maneira: Será que, ainda hoje, em pleno século XXI, principalmente da área de ciências exatas e da natureza, tem-se um ensino passivo?

Duas razões têm justificado a importância da área Ensino em Ciências: a necessidade urgente, das nações, de uma alfabetização científica e o fracasso escolar associado ao ensino em ciências (SCHNETZLER, 2002). Atualmente a educação científica se faz necessária visto que, o conteúdo escolar se coloca distante da realidade.

Para diferenciar a pesquisa feita em química da realizada em ensino de química, Frazer a conceituou da seguinte maneira:

i) investiga-se sobre pessoas e não sobre elétrons; ii) os resultados de pesquisa variam com o tempo e local; iii) não existe ainda uma metodologia de pesquisa bem estabelecida e aceita; iv) a educação química ainda não está bem estabelecida como uma área de pesquisa em química devido ao pequeno ou quase inexistente investimento financeiro [...] (FRAZER, 1982, p.127).

Muitos dos aspectos citados já foram e continuam sendo razões de lutas por espaço no meio científico, o respeito entre acadêmicos é conquistado pela seriedade das discussões em eventos científicos. Schnetzler (2002) aponta seis momentos marcantes para o desenvolvimento do ensino de química no Brasil: 1)

---

<sup>7</sup>Movimento que surge de uma reação aos estudos de Piaget, o conhecimento “informal” se torna relevante no processo de ensino-aprendizagem.

CONSTITUIÇÃO DA DIVISÃO DE ENSINO NA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA: criada em 1988, porém discutida em 1978 numa reunião anual da SBQ, onde surgem debates sobre a importância da abertura de um espaço na comunidade química para estudos e pesquisas em ensino de química. 2) OS ENCONTROS NACIONAIS E REGIONAIS DE ENSINO DE QUÍMICA, que nasceram de um movimento que queria sair do obscurantismo e mostrar a importância de evidenciar a pesquisa em ensino de ciências. 3) A SEÇÃO DE EDUCAÇÃO NAS REUNIÕES ANUAIS DA SBQ E NA REVISTA QUÍMICA NOVA. 4) OS PROJETOS DA DIVISÃO DE ENSINO E A QNESC, a revista Química Nova na Escola foi proposta em julho de 1994. 5) FORMAÇÃO DE MESTRES E DOUTORES EM EDUCAÇÃO QUÍMICA. 6) DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE ENSINO E PUBLICAÇÃO DE LIVROS SOBRE EDUCAÇÃO QUÍMICA.

Diante de todos esses pontos marcantes para o desenvolvimento da pesquisa no Ensino de Química, muito do que foi e é produzido para a melhoria no ensino-aprendizagem ainda não é de conhecimento dos professores que efetivamente fazem a educação básica do país (SCHNETZLER, 2002). Isso pode se dar devido ao desprestígio e desestímulo dos professores de educação básica, e/ou porque muitos dos professores em suas formações iniciais e continuadas não são introduzidos à pesquisa educacional. É importante que professores universitários, professores de educação básica e licenciandos estejam em contato, para assim promover discussões efetivas a respeito da teoria e prática, diminuindo o abismo entre elas. Por isso que na perspectiva de trazer soluções e/ou reflexões sobre o papel da pesquisa em Ensino de Química, várias questões epistemológicas são destacadas e ganham espaço no âmbito científico, com potencial de intervir na prática docente.

A pesquisa no ensino de química envolve a interação entre pessoas (professores e alunos), portanto precisa recorrer às contribuições da psicologia, sociologia, filosofia, entre outras. Os alunos precisam ser levados a entender conceitos construídos e defendidos por uma comunidade científica, elevando assim a importância do professor como mediador do processo de ensino-aprendizagem (SCHNETZLER, 2002). A dificuldade em se introduzir no ensino estas questões está pautada na formação docente, pois o professor reproduz os conteúdos e metodologias com as quais teve contato, é claro, fazendo modificações conforme suas críticas, crenças e experiências pessoais. Muitos professores têm uma ideia simplista da atividade docente devido ao modelo dos cursos de licenciatura que estão pautados

na racionalidade técnica, dividindo o mundo acadêmico do mundo da prática. Como expõe Cachapuz *et al.* (2001, p.169), “considerar a Didática das Ciências uma simples aplicação prática das Ciências da Educação pode fazer com que ignoremos a importância da epistemologia da ciência para uma melhor aprendizagem das ciências”.

A formação inicial de professores não deve apresentar caráter técnico, fazendo separação da teoria e prática de tal forma que não haja diálogo entre elas (SCHNETZLER, 2002). Essa formação deve apresentar perspectivas, no que diz respeito a interação dos estudantes com pesquisa no ensino, e, na didática voltada para ciências. Com o objetivo de amparar, mediar e selar parcerias dos estudantes universitários com as escolas de educação básica.

Buscando investigar a situação atual no cenário científico a respeito da educação em química, surge uma necessidade de respostas e soluções para as más condições educacionais do país, Francisco e Queiroz (2008) agruparam todos os trabalhos da área produzidos entre 1999 e 2006. A análise feita possibilitou o desenvolvimento de um panorama do perfil da área, com o objetivo de equalizar disparidades de estudos entre os níveis de ensino.

Esta investigação se debruçou mais especificamente aos trabalhos voltados para o Ensino Médio (EM), e para classificá-los utilizou-se dos descritores de Megid Neto (1999) com a finalidade de agrupá-los quanto aos focos temáticos. Das pesquisas voltadas ao EM observou-se uma preocupação maior em relação a elaboração e aplicação de materiais didáticos, análise de livros didáticos, reflexão sobre as políticas educacionais, desenvolvimento e aplicação de novas metodologias.

Já foram mencionados anteriormente os descritores de maior relevância para esta dissertação, aqui serão destacados a quantidade de trabalhos que se encaixaram nestes focos temáticos segundo a análise de Francisco e Queiroz (2008).

- Formação de conceitos: 58 trabalhos com características comuns e predominância na descrição do desenvolvimento de conceitos entre professores e alunos, que resultaram em mudanças/evoluções conceituais.
- História da Ciência: 8 resumos que buscam a contextualização histórica de determinados conteúdos de Química, visando uma melhor compreensão por parte dos alunos, tanto dos referidos conteúdos, quanto da construção do conhecimento científico.

- Filosofia da Ciência: nenhuma pesquisa com foco principal neste tema.

Observa-se que dentre esses três descritores, os estudos que tiveram como foco principal a História da Ciência e a Filosofia da Ciência foram pouco privilegiados, sugerindo a existência de assuntos e questionamentos que precisam ser mais amplamente investigados no contexto da pesquisa em Ensino de Química.

Quando se pensa na quantidade de questões no âmbito do ensino de química, observa-se que pouco foi explorado e que o mar de situações, incertezas e contextos que só a sala de aula é capaz de nos banquetear, não pode se intimidar diante das dificuldades. Mól, Silva e Souza (2013) relatam algumas delas no Brasil, destacadas por pesquisadores da área, cadastrados na SBQ.

As dificuldades encontradas no discurso dos pesquisadores estão relacionadas: i) ao reconhecimento da área pelas instituições CAPES e CNPq, pelos pares e reconhecimento social; ii) as dificuldades técnicas (publicações, financiamento, articulação com a prática, metodológicas); iii) as dificuldades referentes à comunidade (formação profissional, internacionalização, normas éticas, foco teórico/metodológico, carência na formação, baixo número de pesquisadores e desarticulação da comunidade); iv) a falta de contextos de trabalho e pesquisa favoráveis (diálogo entre áreas, condições materiais, condições humanas) (MÓL; SILVA; SOUZA, 2013, p.190).

Mesmo com os entraves apontados, os autores que elencaram as dificuldades, se consideram otimistas quanto às perspectivas e expectativas relacionadas ao desenvolvimento científico da área. Relatando que o Ensino de Química é promissor no que tange as melhorias do ensino médio; formação de professores; e o aumento qualitativo e quantitativo das publicações especializadas na área, além de proporcionar a aproximação da pesquisa com o ensino médio.

Uma das perspectivas relatadas no parágrafo anterior, já se apresenta como uma realidade que é apontada por Soares, Mesquita e Rezende (2017), a existência de uma crescente em relação à quantidade de produções científicas em Ensino de Química. Os autores estabelecem relação do crescimento de investigações com os Encontros Nacionais de Ensino de Química (ENEQs) que ocorrem bienalmente. Fator positivo que acaba por se tornar um problema, devido ao fato referente à logística de acomodação aos inúmeros participantes. Importante salientar que o aumento de trabalhos não significa maior qualidade, pois o número de professores com formação em Ensino de Química é pequeno para o número de trabalhos enviados.

Foi com a criação da Divisão de Ensino de Química (DEQ) em 1988, que os pesquisadores passaram a agregarem-se através dos encontros que propiciaram

maior amplitude das discussões entre os pares, culminando na organização da comunidade de educadores de química no Brasil. A partir de 2016 a comunidade decidiu que o ENEQ seria feito nas cinco regiões em forma de rodízio, na tentativa de descentralizar das regiões com maior número de pesquisadores. Além dos encontros nacionais, os regionais se apresentam com um potencial maior de integralização entre pesquisadores, professores e licenciandos, também aproximam redes de ensino municipais e estaduais. Importante destacar o programa PIBID que possibilitou o envolvimento e fixação de alunos nos cursos de licenciatura. Com o aumento expressivo de pesquisas na área, as revistas de publicação e divulgação dos trabalhos aumentaram, além da Química Nova e a QNEsc surgiram outros periódicos de grande relevância no cenário de produção científica do país (SOARES; MESQUITA; REZENDE, 2017).

Percebe-se que o caminho é longo, mas alguns obstáculos já foram vencidos. Apesar de ser uma área com aspectos epistemológicos não agregados pelas outras áreas da química, todos de certa forma fazem ou farão uso das pesquisas em ensino, pois são alicerces para uma reflexão da prática docente e até mesmo a prática de laboratório.

O Ensino em Ciências e conseqüentemente em Química, foram se estruturando como relatado no texto, podemos detectar diante da investigação dos autores citados, que pouca ou nenhuma atenção esteve voltada para o tema História da Ciência. Na próxima alínea serão expostas algumas características e discussões que envolvem a temática, considerada pertinente para a área de Ensino.

### **1.3 Aspectos investigativos da História da Ciência**

A História da Ciência já foi considerada uma área de conhecimento reservada apenas para pesquisadores de determinadas áreas específicas, foi em meados dos anos de 1960 que ganhou autonomia como área de investigação e hoje apresenta um caráter interdisciplinar (MARQUES, 2010). Neste período grandes discussões sobre o papel da ciência e a construção do pensamento científico germinaram, com

destaque à crítica ao positivismo lógico<sup>8</sup> e ao método científico<sup>9</sup> feito por Kuhn em sua obra “*A Estrutura das Revoluções Científicas*”.

A História da Ciência é um estudo metacientífico, a qual se apresenta com metodologia própria, que não é da história e nem da ciência, pois denota uma natureza diferente. Para uma pesquisa nesta área, os estudos precisam estar direcionados para a metodologia da História da Ciência, para a epistemologia, o conhecimento dos conceitos da ciência em estudo e o desenvolvimento histórico do período analisado (MARTINS, 2005).

Por ter este aspecto mais abrangente, no que diz respeito ao estudo entre áreas aparentemente distintas da investigação científica, é que se pode explicitar dois enfoques abordados pela História da Ciência. O estudo da área pode ter uma abordagem conceitual (interna, internalista) que discute as evidências e os fatos científicos relacionados a um assunto. Já a outra é a não conceitual (externa, externalista) que são as influências sociais, políticas, econômicas, psicológicas, entre outras. Uma não ocorre distinta da outra, como bem colocado por Martins (2005, p.306):

Entretanto, embora em termos práticos tudo ocorra ao mesmo tempo, ou seja, os processos de proposta/fundamentação e o de aceitação ou rejeição não sejam independentes um do outro, esta distinção pode proporcionar maior clareza à análise de História da Ciência.

Assim como as demais áreas de investigação, a História da Ciência também está sujeita a equívocos, pois é escrita por seres humanos, além de retratar muitas vezes fatos e contribuições científicas de momentos de um passado distante. Portanto alguns problemas podem ser encontrados em trabalhos da área, como destaca Martins (2005):

- ❖ Quando ela se apresenta puramente descritiva, com datas e informações de pouco ou nenhuma relevância para o assunto estudado, visão distorcida do cientista e do pensamento científico.

---

<sup>8</sup>Visão filosófica da ciência que defendia a neutralidade científica, ou seja, o sujeito da pesquisa não tinha relação com o objeto pesquisado e os resultados obtidos.

<sup>9</sup>Kuhn critica a ideia de que o método científico é uma sequência rígida, lógica, como uma receita infalível para se produzir ciência, partindo de uma observação neutra. Para uma maior compreensão ler “*A Estrutura das Revoluções Científicas*” (2017, p. 60-63)

- ❖ História da Ciência anacrônica, quando o pesquisador estuda o passado com olhos no presente. Precisa se familiarizar com a época estudada sem deixar de lado as conquistas sucessoras do assunto abordado.
- ❖ A ideologização da História da Ciência, analisada de forma nacionalista, política, religiosa, entre outras.
- ❖ “Apudismo”, o uso do termo apud que significa citações obtidas em informações indiretas, podendo reproduzir erros.
- ❖ Omitir aspectos importantes na descrição da história, isso acontece quando o historiador favorece alguns aspectos em detrimento de outros, tornando um estudo tendencioso.

O aspecto historiográfico da ciência introduz elementos que agregam e humanizam, o que antes era mergulhado na objetividade e racionalidade. Discussões neste sentido aprofundam o conhecimento epistemológico da ciência, levando à reflexões que perpassam a teoria, colhendo frutos através da mudança conceitual e conseqüentemente a comportamental, ou seja, transforma a prática.

Um aspecto que não poderia deixar de ser discorrido é a interação peculiar entre História da Ciência e Filosofia da Ciência. Ao estudá-las sob a óptica do ensino, uma não se dissocia da outra, tanto que existe uma área de conhecimento chamada História e Filosofia da Ciência (HFC), devido a intrínseca relação entre ambas o subcapítulo a seguir, será apresentado.

#### **1.4 História e Filosofia da Ciência no Ensino**

Foi na década de 1960 que os primeiros programas governamentais fizeram menção ao Ensino de Ciências. Foram os movimentos como “concepções alternativas” e “mudança conceitual”, que serão um pouco mais esquadrihados posteriormente, que trouxeram ao Ensino de Ciências perspectivas não estabelecidas anteriormente. À medida que as discussões foram se aprofundando e ganhando espaços no cenário científico, estudos e críticas surgiram a fim de aprimorar o ensino e aprendizagem. Mesmo que com falhas graves, tanto o modelo americano quanto o europeu, ao ignorarem as discussões e as teorias a respeito da Filosofia da Ciência, apontados por Kuhn, Popper, Lakatos e Feyerabend na Conferência Internacional sobre Filosofia da Ciência (1965), permitiram abismos entre esta e o Ensino em Ciências (MATTHEWS,1995; VILLANI, 2001).

Quando se fala em Filosofia da Ciência é muito difícil desligá-la da História, embora possam ser estudadas separadamente, a maior parte da literatura na área de ensino em ciências encontra-se compreendida como 'História e Filosofia da Ciência' (HFC). A História e a Filosofia se unem para fazer referência a um conjunto de saberes, que até determinado ponto se encontra interrelacionado e coeso (MARTINS, 2007), muito bem representado pela conhecida frase: "A Filosofia da Ciência está vazia sem História da Ciência; a História da Ciência está cega sem Filosofia da Ciência" (LAKATOS, 1971, p.91).

O Ensino em Ciências surgiu sem dar a devida importância para a História e Filosofia da Ciência, enquanto debates sobre o seu uso e desuso se intensificavam nos anos de 1960, 70 e 80. Neste período as diretrizes do ensino de ciências apresentavam posturas acríticas e indutivistas<sup>10</sup>, pois ainda prevaleciam as características do início e meados do século XX.

Os materiais didáticos instrucionais desta época, conduziam os alunos aos conceitos científicos de forma mecânica com a figura do professor reduzida, sem voz ativa, reproduzindo em sala de aula natureza epistemológica semelhante. Somente a partir da década de 1990 um olhar se voltou para as contribuições da HFC na investigação e até mesmo na prática do ensino em ciências. As décadas subsequentes são determinantes para as mudanças nas relações intrínsecas de um processo de ensino. O professor e o aluno passam a ter interatividade, o docente conduz o aprendiz a um confronto entre suas concepções, experiências e teorias, sendo ele mesmo o construtor de elos entre seu conhecimento prévio e os conhecimentos científicos (MATTHEWS, 1995; VILLANI, 2001).

Matthews (1995) aponta que quem mais contribuiu para o diálogo entre HFC e ensino em ciências, foi o filósofo Michael Martin ao escrever seu livro *Conceitos de educação em ciências* (1972). Porém, em tempos remotos é possível encontrar recomendações do uso de História da Ciência no ensino nas obras de Francis Bacon<sup>11</sup> e Ernest Mach<sup>12</sup> (CHASSOT, 2003).

---

<sup>10</sup> Relativo ao método indutivo do movimento da "aprendizagem por descoberta", método que permite a partir de observações e resultados experimentais obter as leis, as teorias científicas. Este método desvaloriza a criatividade do trabalho científico e conduz os alunos a entenderem o conhecimento científico como algo inquestionável e rígido.

<sup>11</sup> Francis Bacon (1561-1626) considerado o criador da Ciência experimental.

<sup>12</sup> Ernest Mach (1838-1916) físico e filósofo austríaco, considerado o principal inspirador do positivismo lógico.

Na década de 1980, as pesquisas de Ensino em Ciências buscavam melhoria na educação, procurando adequar às teorias de Piaget e Vigotsky. Materiais didáticos e novas metodologias de ensino-aprendizagem, eram desenvolvidos em conjunto com o movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) ou Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA) (MARQUES, 2010). Os programas de CTS nas escolas e universidades deram abertura para as contribuições histórico-filosóficas no ensino em ciências. Além de eventos como a Primeira Conferência Internacional sobre “História, Filosofia, Sociologia e o Ensino de Ciências” em 1989 e a Conferência “História da Ciência e o Ensino de Ciências” na Universidade de Oxford em 1987. Também uma série de conferências na década de 1980 da União Europeia de Física, como “A história da física e o seu ensino”, trouxe uma nova perspectiva no que diz respeito ao fracasso escolar no ensino das ciências, evasão dos alunos e o analfabetismo em ciências (MATTHEWS, 1995).

Durante o processo de aprendizagem por descoberta até o construtivismo, o ensino em ciências foi sendo nutrido pelas próprias disciplinas científicas básicas e pela psicologia da educação. As teorias construtivistas apontam que o aluno é responsável pela construção do seu próprio conhecimento, de acordo com suas experiências, contexto social e conhecimentos prévios, e toda a construção cognitiva ocorre de forma a ter sentido, utilidade e coerência para as suas vivências posteriores. A filosofia entra como um elemento essencial para explicar os fundamentos das disciplinas científicas, contribuindo para a prática em sala de aula, ao trazer questões sobre a estrutura e o desenvolvimento do conhecimento (MELLADO, 1993).

O professor com uma formação histórica e filosófica da ciência, pode construir um conhecimento mais amplo que perpassa o saber do conteúdo específico, indo para os aspectos metodológicos e as interações ciência-tecnologia-sociedade-ambiente. Essa abrangência em sua formação, diminuiria equívocos conceituais que são transmitidos sistematicamente (LOGUERCIO e DEL PINO, 2006).

Considera-se que a opção didática pela História da Ciência deve acontecer de forma articulada com a Filosofia da Ciência, a fim de ajudar na análise crítica do conhecimento científico produzido e na transposição didática dos conteúdos (OKI e MORADILLO, 2008, p. 70).

A Filosofia das Ciências se apresenta com um papel de explicitar, comunicar e estruturar as ideias dos professores sobre a natureza da ciência, e, por consequência

é possível gerar uma melhoria no desempenho profissional. Algumas ideias de professores sobre a natureza das ciências se aproximam do senso comum, sendo que alguns mitos estão enraizados na prática docente. Apresentam consequências negativas sobre a imagem da ciência que é transmitida na escola, sendo alguns deles: a universalidade e rigidez do método científico, a objetividade a toda prova da ciência, a validade absoluta do conhecimento científico, o avanço do conhecimento científico e da ciência por acumulação, o caráter exclusivamente experimental da ciência e a posição realista ingênua (ADÚRIZ-BRAVO; IZQUIERDO-AYMERICH; ESTANY, 2002).

É sabido que trazer para o ensino de ciências aspectos históricos, filosóficos e sociológicos o tornará com características mais humanistas cultural e socialmente. Portanto, não é de se estranhar a ausência destes aspectos no âmbito da prática pedagógica, pois possui um caráter complexo e dinâmico da atividade científica (ACEVEDO *et al.*, 2005; OKI e MORADILLO, 2008).

A HFC no ensino em ciências ressalta a importância de um ensino em seus diversos contextos ético, social, histórico, filosófico e tecnológico.

A tradição contextualista assevera que a história da ciência contribui para o seu ensino porque: (1) motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência -a Revolução Científica, o darwinismo, etc.; (5) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem a ideologia científicista; e, finalmente, (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente. (MATTHEWS, 1995, p. 172-173).

Pode-se encontrar certa representatividade da abordagem histórico-filosófica de conteúdos de caráter científico, em documentos oficiais da educação como os Parâmetros Curriculares Nacionais, que apontam uma necessidade de um ensino científico contextualizado histórica e socialmente.

Em termos gerais, a contextualização no ensino de ciências abarca competências de inserção da ciência e de suas tecnologias em um processo histórico, social e cultural e o reconhecimento e discussão de aspectos práticos e éticos da ciência no mundo contemporâneo, [...] (BRASIL, 2002, p.31)

Não é de hoje que se busca um ensino em ciências mais conectado à História da Ciência, como verificado em discussões curriculares no final da década de 1990,

permanecendo nos debates até os dias atuais consolidado na Base Nacional Comum Curricular (BNCC):

Ainda com relação à contextualização histórica, propõe-se, por exemplo, a comparação de distintas explicações científicas propostas em diferentes épocas e culturas e o reconhecimento dos limites explicativos das ciências, criando oportunidades para que os estudantes compreendam a dinâmica da construção do conhecimento científico. (BRASIL, 2018, p.550)

Como relatado no texto, os debates regulares sobre conteúdos com abordagem contextualizada, traz renovação no quesito práticas de ensino. Pode-se observar uma evolução, na tentativa de aprimorar os conhecimentos, almejando a primazia do processo de ensino-aprendizagem, bem como uma formação integral do indivíduo que é esmiuçado pelas 'dez competências gerais da educação básica' (BRASIL, 2018, p. 9-10).

Esta formação integral está diretamente relacionada a um processo muito conhecido, que é a alfabetização do indivíduo. Mas será que existe apenas um único tipo de alfabetização? Talvez algumas pessoas possam dizer que sim, e que esse processo se completa quando o indivíduo sabe ler e escrever, ou podem ainda acrescentar a habilidade de interpretar. O próximo texto traz uma reflexão sobre qual é o papel do Ensino em Ciências na alfabetização, e, o quanto a História e Filosofia da Ciência pode auxiliar na eficácia deste processo.

### **1.5 História da Ciência e a Alfabetização científica**

Há décadas o termo alfabetização é usado na área de Ciências Humanas, fazendo alusão à alfabetização na língua materna e distinguindo-a da alfabetização em matemática, indiscutivelmente essenciais para a formação do indivíduo na atualidade. Entretanto, menos usual, é a alfabetização científica referente às ciências da natureza, termo que emerge nas discussões do mundo atual que apresenta uma variedade de recursos tecnológicos jamais vistos, além é claro dos processos naturais que nos rodeiam. Diante disso, entende-se que alfabetização científica é o conjunto de conhecimentos que auxilia homens e mulheres, a fazerem uma leitura do mundo em que vivem, não apenas para entendê-lo, mas transformá-lo positivamente (CHASSOT, 2003).

Como Chassot (2003) aponta em seu livro '*Alfabetização Científica: Questões e Desafios para a Educação*' é fácil detectar um analfabeto em língua materna ou um

analfabeto matemático, porém, como verificar alguém que sabe fazer uma leitura do mundo natural? Ocorre que, não compreender fenômenos naturais e cotidianos, não impedem as pessoas de realizar atividades relacionadas a tais fenômenos. Diferenciando-se totalmente da alfabetização na língua materna e da alfabetização matemática, pois no caso destas é preciso que se tenha um conhecimento e entendimento para realizar as atividades específicas.

A educação científica surge como uma necessidade para o desenvolvimento e transformação da civilização, porém ela se depara com uma realidade que se distancia cada vez mais das expectativas, pois muitas vezes a ciência é ensinada de forma a transmitir visões empobrecidas, simplificadas e distorcidas da realidade. Isto acontece por não considerar os aspectos históricos e filosóficos dela, gerando nos estudantes desinteresses e/ou rejeições que se tornam barreiras para o aprendizado. A educação científica centrada na transmissão de conhecimentos, torna o ensino reducionista que limita a visão dos alunos, passando a enxergar o mundo conforme as concepções do professor (CACHAPUZ *et al.*, 2005).

Pensando na formação integral dos alunos, para que se transformem em homens e mulheres mais críticos, defende-se a tese de que a História da Ciência é uma facilitadora da alfabetização científica do cidadão e da cidadã. A História da Ciência não é aqui um mero instrumento que serve de acessório, ou um conteúdo suplementar que apenas será utilizado se houver tempo hábil nas aulas (CHASSOT, 2003), o que geralmente é observado na prática. Sendo assim, além de falar sobre alfabetização científica, uma breve discussão sobre a prática pedagógica merece atenção.

Cachapuz *et al.* (2005) destaca que, não há garantia de que o comportamento docente seja coerente com suas influências e concepções estruturadas e adquiridas durante o processo de formação acadêmico. Mesmo assim as tentativas de mudança nas concepções epistemológica e na prática docente precisam ocorrer, para que possa diminuir a probabilidade de algumas concepções serem deformadas, a partir de equívocos recorrentes e elencados pelo autor como apresentados a seguir:

**Quadro 1.** Possíveis visões deformadas da ciência e tecnologia.

<b>Possíveis visões deformadas da ciência e tecnologia</b>	
1. Uma visão descontextualizada	Socialmente neutra e desconexa das complexas relações CTSA. No geral, as referências das relações CTSA incluem textos reducionistas e simplistas de aplicações dos conhecimentos científicos.
2. Concepção individualista e elitista	As descobertas científicas aparecem como obra de gênios isolados, representados por homens em laboratórios, caracterizado por uma ciência intelectualmente inacessível.
3. Concepção empiro-indutivista e ateórica	Observação e experimentação “neutra”, ou seja, o objeto não recebe influência do sujeito que não considera as hipóteses e teorias como parte de todo processo investigativo.
4. Uma visão rígida, algorítmica e infalível	Refere-se ao “método científico” como uma sequência de etapas definidas, em que a concepção algorítmica se mantém de forma pronta para sua simples recepção, sem que estudantes e professores possam constatar as limitações.
5. Uma visão aproblemática e a-histórica	O conhecimento é apresentado como pronto e acabado, sem dificuldades e obstáculos epistemológicos no processo de elaboração, sem limitações ou lacunas a serem preenchidas por novas descobertas.
6. Visão exclusivamente analítica	Simplificação do processo científico, que ao abordar problemas resolúveis ignoram conscientemente as características das situações estudadas, afastando-os da realidade.
7. Visão acumulativa de crescimento linear	Ignora as crises e as remodelações.

Fonte: CACHAPUZ *et al.* (2005, p. 40-51)

Em relação ao quadro 1: O que pode ser feito para desmistificar essas visões deformadas da ciência e tecnologia? Qual é o papel do professor nesta desmistificação?

Quando se volta à política educacional, uma batalha é travada na busca por justiça e equidade de acesso ao conhecimento. Onde forças progressistas lutam para que a alfabetização científica chegue a todas as classes sociais, esclarecendo que a não alfabetização científica para todos é um prejuízo contínuo. Pois, se não há formação básica, para que os cidadãos tenham condições de participar das discussões que envolvem as questões tecnológicas, distancia-os ainda mais da

atuação na sociedade, e, o pior, implica em reservar esses conhecimentos a uma pequena parcela da sociedade, a de maior status social. Alfabetização científica e tecnológica se torna necessária para auxiliar os indivíduos em problemas do cotidiano, para que possam compreender o mundo natural. É importante enfatizar que educação científica tem que ser parte da educação geral, com objetivo de conscientizar a população das complexas relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA) permitindo-lhes a tomada de decisão (CACHAPUZ *et al.*, 2005).

Homens e mulheres tem uma visão de mundo, em grande parte, de acordo com os seus conhecimentos científicos e as suas aplicações tecnológicas, isto é, através de suas interpretações e experiências que enxergam e percebem o mundo e sua construção (MATTHEWS,1995). Por isso, que cada professor traz à sua prática docente características de si mesmo, pois carrega consigo conhecimentos construídos a partir de experiências singulares e peculiares.

Esta subjetividade do processo de ensino, tão presente nas relações interpessoais dentro da sala de aula, revela um professor formador que entende e compreende o objetivo básico de formar cidadãos críticos. Contudo, sua prática pedagógica tem que seguir uma busca incansável para banir cinco entraves da sala de aula segundo Chassot (2003):

- i. ensino asséptico, desvinculado da realidade dos alunos e professores;
- ii. ensino abstrato distante do mundo real;
- iii. ensino dogmático, impossibilitando trabalhar com as incertezas;
- iv. conhecimento ahistórico;
- v. avaliações ferreteadoras que não consideram o processo, mas apenas o produto.

Muitos destes obstáculos vêm sendo trabalhados de forma a melhorar a prática docente, entretanto ainda há um caminho tortuoso a ser percorrido pelos profissionais da educação. São poucos os professores preocupados em trazer para sua prática um ensino mais histórico, a história tem um potencial para diminuir as barreiras artificiais construídas que fazem a segmentação dos conteúdos (CHASSOT, 2003).

O olhar que estudantes têm em relação a ciência pode mudar, quando os professores apresentarem a natureza da ciência por um outro prisma. Educadores que possuem certo conhecimento de história e filosofia da ciência fazem uma distinção entre ciência e senso comum (CACHAPUZ *et al.*, 2005; MATTHEWS, 1995).

A HFC surge como uma necessidade formativa do professor, na medida em que pode contribuir para: evitar visões distorcidas sobre o fazer científico; permitir uma compreensão mais refinada dos diversos aspectos envolvendo o processo de ensino aprendizagem da ciência; proporcionar uma intervenção mais qualificada em sala de aula (MARTINS, 2007, p. 115).

A simples inserção deste tema, na formação inicial e/ou continuada de professores, não garante uma mudança de prática docente e que aspectos históricos e filosóficos da ciência adentrem as salas de aula do ensino médio. Alguns problemas são enfrentados pelos profissionais, tornando sua prática pedagógica dificultada, como a falta de material pedagógico adequado, assim como as dificuldades de leitura e interpretação de texto por parte dos alunos. Podem-se apontar outros obstáculos relevantes: - o currículo escolar que apresenta um cronograma voltado para avaliações externas, que é truncado e extenso. Por isso, o ensino com abordagem de História e Filosofia da Ciência passa a ser visto como algo extra, não como um ensino complementar que auxiliará no aprendizado de determinado assunto do currículo. Passando pelas seguintes dificuldades: -ser inserido no cronograma escolar; - resistência dos alunos e da escola para inovações; -professores tem medo de romper com o que está estabelecido e serem julgados como maus profissionais; -reflexo de uma “acomodação” e falta de conhecimento do uso de estratégias didáticas; - a formação e falta de preparo dos professores. (MARTINS, 2007)

Não é simplesmente o uso da HFC no ensino de ciências que vai classificá-la como ineficaz ou inadequada. “O problema hermenêutico de interpretação na história da ciência, longe de dificultar ou impedir o uso da história, pode tornar-se uma boa ocasião para que os alunos sejam apresentados a importantes questões [...]” (MATTHEWS, 1995, p. 177).

Os alunos têm pouca familiaridade com a história da construção do conhecimento, porque quase não se vê uma prática pedagógica preocupada, voltada para esta questão, por diversos motivos já mencionados no texto. Nestes novos tempos, os professores precisam entender que a sua função é formar e não informar, ter consciência de que estão fazendo história na educação. Reconhecer que existiu uma história anterior que é conhecida/transmitida e outras que não são mostradas, mas que merecem ser enaltecidas (CHASSOT, 2003).

Muitas são as justificativas para o não uso e para a deficiência apresentada no ensino sob a luz da História da Ciência, tanto nos cursos de formação de professores quanto no ensino médio. Boa parcela disto tem relação com a institucionalização

recente desta área no Brasil, a Sociedade Brasileira de História da Ciência data da década de 1980, quando uma pequena comunidade científica se formou (MARQUES, 2010).

À medida que programas de pós-graduação de Ensino em Ciências foram crescendo, a relação com a educação foi se estreitando, mas ainda tem muito a ser feito. Dentro desta grande área encontra-se a Educação em Química, são os grupos de pesquisa que têm contribuído para ampliar os debates na busca por mudanças/aprimoramento da prática docente, visando maior qualidade no processo de ensino. Neste esforço está a procura por uma abordagem histórica e filosófica de conceitos químicos ensinados no ensino médio, com o intuito de amenizar ou até mesmo desfazer as concepções alternativas enraizadas nos professores e alunos. É neste sentido que a discussão a seguir será denotada com alguns aspectos substanciais para as subseqüentes alíneas.

## **1.6 História e Filosofia da Química**

A filosofia da química é uma subdisciplina da filosofia das ciências, considerada um ramo da ciência recente porque passou por um processo de mudança no campo investigativo nos anos de 1990. Momento que estudos e debates sobre filosofia da química começaram a ter espaço no cenário científico, a partir de alguns eventos marcantes como a Primeira Conferência Internacional sobre Filosofia da Química em 1994. Foi na reunião anual de 1997 da American Chemical Society, que uma sessão foi dedicada a questões relacionadas à interação entre filosofia e química, sendo, neste ano, constituída a International Society for the Philosophy of Chemistry – “Sociedade Internacional para a filosofia da química” (ISPC), que realiza simpósios anuais desde então. Neste mesmo ano a revista *Synthese* editou um número especial para esta subárea do conhecimento, ganhando visibilidade e se estabelecendo como campo de investigação com a criação da *Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry* em 1995. Em 1999 foi publicada a primeira edição da revista *Foundations of Chemistry*, dedicada à filosofia da química (ERDURAN, 2001; LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013; KAVALEK *et al.*, 2015).

Filosofia e química são dois campos conhecidos separadamente, entretanto as duas ciências se interrelacionam em um enfrentamento de fundamentação e interpretação científico-filosófico. “Na realidade toda investigação científica inclui

conceitos filosóficos tais como aqueles de lei, verdade, hipótese, tempo, energia, entre outros” (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013, p. 1256). Esta preocupação em investigar aspectos filosóficos da ciência, faz com que haja uma ramificação da filosofia da ciência em filosofia da física, da biologia, da matemática entre outras. Porém a filosofia da química pouco aparece no cenário científico (LOMBARDI e LABARCA, 2004), o que pode ser verificado historicamente através de sua nulidade nos maiores debates da História e Filosofia da Ciência.

Até o começo do século XX a química seguia um desenvolvimento histórico independente ao da física, no entanto com o êxito da teoria da mecânica quântica, mudanças ocorreram neste sentido. A física passou a ganhar destaque nas discussões filosóficas científicas, tornando a química uma ciência subordinada à física. Concebida como um ramo da física, que explica sistemas complexos ou processos particulares através da teoria quântica, a química colocou em xeque a legalidade da filosofia da química, podendo esta ser abordada pela filosofia da física (LOMBARDI e LABARCA, 2004; LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013).

Na física as previsões estão baseadas em modelos matemáticos, enquanto a química está fundamentada em aspectos qualitativos da matéria. É bem verdade que ambas envolvem conceitos quantitativos e dinâmicos, mas na química e biologia eles vêm acompanhados de conceitos qualitativos e classificatórios. Essas diferenças que separam a química da física estiveram abandonadas na estrutura reducionista, colocando a química como parte da física (ERDURAN, 2001).

Ocorrem que os fundamentos teóricos dos filósofos da ciência, muitas vezes estão baseados na ciência que conhecem melhor. Os que ingressaram diretamente nesta área apresentam maior tendência à lógica matemática do que à química, e aqueles que partem de outras áreas, geralmente emigram da física, biologia e raramente da química. Existem alguns fatores responsáveis por essa separação entre os químicos e a filosofia (HOFFMANN, 2007).

As causas que impediram o desenvolvimento da filosofia da química são muito variadas. Entre elas, a mecânica quântica teve um papel decisivo na relação entre química e física: o impactante êxito dessa teoria levou a físicos e a filósofos das ciências a aceitar que a química poderia ser completamente reduzida à física (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013, p. 1257).

Scerri e McIntyre (1997) destacam que, assim como na química acontece uma redução à física, no campo filosófico essa ideia e prática reducionista acontecem

também. Portanto é preciso entender o significado de redução e como ela ocorre na química. Os autores apontam dois tipos de redução: redução quantitativa que se refere ao uso de cálculos das propriedades químicas através das teorias físicas, e, redução conceitual trata-se da definição de conceitos químicos pelos termos físicos.

Mario Bunge traz uma reflexão neste sentido, em seu artigo intitulado '*Is Chemistry a Branch of Physics?*' de 1982, "o problema da redução" da química. O artigo chama a atenção para a questão de imaginar que os sistemas químicos são parte de um sistema maior, o físico, e está subordinado a este, em que deveriam ser encontrados aspectos químicos dentro do sistema maior. Na verdade, o que se tem são sistemas químicos formados por componentes com características e propriedades físicas, o que ocorre nos sistemas químicos não são explicados pela física. Como por exemplo: conceitos de composição, ligação ou estrutura molecular que requerem exclusivamente um nível químico de explanação.

O desenvolvimento da epistemologia química foi inibido, porque sob a óptica positivista a química esteve reduzida à mecânica quântica. "Desde o positivismo lógico até Popper, Kuhn, Lakatos e Feyerabend, a física foi considerada como a ciência modelo para a filosofia das ciências" (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013, p. 1256). Com o desenvolvimento da teoria quântica, os modelos utilizados para explicar fenômenos químicos foram subestimados, reduzindo as características da ciência química, que era qualitativa e descritiva, a uma abordagem predominantemente quântica (ERDURAN, 2001). Cada vez mais a química foi ficando reduzida à física, direcionada a uma química quântica computacional, numa tentativa de calcular propriedades dos átomos e moléculas por meio da equação de Schrödinger. Muito usada para se fazer cálculos sofisticados que puderam explicar propriedades de moléculas simples, mas não foram suficientes para o conceito de ligação química (SCERRI e MCINTYRE, 1997).

Estes questionamentos emergem de discussões filosóficas que buscam uma autonomia da química, para isto os argumentos são baseados na distinção entre redução ontológica e epistemológica. Lombardi e Labarca (2004) apontam, que este tipo de argumento não é suficiente para extinguir a ideia de dependência hierárquica da química em relação à física, entretanto é possível que essa ideia de superioridade física sobre a química seja revertida ao assumir um debate de pluralismo ontológico.

Para fazer uma análise de conceitos reducionistas na busca por respostas científica, filosófica e histórica, se faz necessário distinguir redução ontológica da

epistemológica. A redução ontológica considera um único nível fundamental da realidade (físico), onde os demais (biológico, químico etc.) ocupam uma posição secundária meramente complementar. A redução epistemológica é a dependência entre as teorias, privilegiando uma em detrimento das outras (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013).

Segundo Lombardi e Labarca (2004), a redução ontológica da química à física é até aceitável por alguns filósofos, em contrapartida a rejeição da redução epistemológica é geral, sendo encarado como um problema a ser resolvido. A aceitação da redução ontológica está baseada em um realismo externalista<sup>13</sup>, quando entidades, propriedades e regularidades não esclarecidas por determinada ontologia são explicadas, secundariamente, por outra. Dizer que a ontologia do mundo físico é fundamental e que ela explica a realidade por si mesma, enquanto a química apenas descreve os fenômenos, é negar que a ciência química possui seus esquemas conceituais e uma ontologia própria.

Outro aspecto ontológico importante é o pluralismo, que ao considerar a coexistência de teorias científicas, deve-se aceitar que um mesmo paradigma possui diferentes ontologias, para que suas entidades básicas possam coexistir. Além do mais, não se pode afirmar que determinada ontologia se sobressai em relação a outra, sendo que todas têm o mesmo valor metafísico<sup>14</sup>. Em geral a redução epistemológica é falha, como no caso das propriedades de um sistema químico que não podem ser explicadas por microcomponentes físicos. Logo, uma discussão a respeito do realismo que busca uma autonomia ontológica do mundo químico na perspectiva internalista<sup>15</sup>, se faz necessária. A ontologia química não depende de uma ontologia fundamental, o que não significa um mundo físico e químico separados ontologicamente, na verdade eles se interrelacionam de forma não redutiva, cada qual preservando suas autonomias ontológicas (LOMBARDI e LABARCA, 2004).

Durante o século XX, a química e a filosofia pouco se falaram, talvez daí se dá o abismo existente entre a química que se ensina e a que se pratica (KAVALEK *et al.*, 2015). Pelos motivos citados, a filosofia da química tem estado a margem das discussões filosóficas da ciência, por isso a filosofia da ciência convencional necessita

---

<sup>13</sup> "Objetos existem independente do nosso conhecimento" (LOMBARDI e LABARCA, 2004, p. 59)

<sup>14</sup> "Que estuda a realidade, sua estrutura e as entidades que nela existem." (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013, p. 1257)

<sup>15</sup> Objetos e esquemas conceituais coexistem e se inter-relacionam. Para maiores esclarecimentos ler LOMBARDI e LABARCA, 2004, p. 58-63)

de uma reforma, onde a química e as demais áreas exerçam seus papéis fundamentais e singulares (BENSAUDE-VICENT, 2014). A química merece atenção filosófica para desconstruir a ideia de racionalidade e diversificar as visões metafísicas da natureza e da realidade.

A investigação química sobre a natureza se dá de maneira especial através de laboratório no manuseio de substâncias e materiais (BENSAUDE-VICENT, 2014), entretanto as proposições comportamentais e relacionais de átomos e moléculas muitas vezes fogem do pragmatismo das ciências exatas. Como é o caso de conceitos como composição, ligações químicas e geometria molecular que são entidades pertencentes à ontologia química e que a teoria quântica, por si só, não consegue explicar (LOMBARDI e LABARCA, 2004). Assim sendo, as reflexões filosóficas podem elevar o pensamento químico a um outro patamar de compreensão e entendimento da natureza.

Refletindo sobre os aspectos ressaltados no texto, o realismo e o reducionismo são temas abordados pela Filosofia da Química. A importância de debates voltados para a epistemologia química, conduzem a um mergulho nas questões que se apresentam enraizadas no ensino médio, devido à formação pragmática no ensino superior de professores. Questões que ao serem apresentadas e discutidas, podem ajudar a desfazer ou remodelar concepções alternativas presentes nas salas de aula, tanto em alunos quanto em docentes. Portanto, a próxima discussão apresentará um estreitamento entre História e Filosofia da Química e o Ensino de Química, além de apresentar potencialidades da aplicação do tema na formação e no desenvolvimento de habilidades do estudante.

### **1.7 História e Filosofia da Química no ensino**

A filosofia da química é um novo campo que pode informar o ensino da química sobre quais são os aspectos cruciais filosóficos da ciência da química. Tendências no tratamento de modelos no ensino de química realçam a necessidade de reconceituar o ensino e a aprendizagem da química para abraçar a epistemologia química, uma contribuição potencial da filosofia da química (ERDURAN, 2001, p. 590, tradução livre).<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> No original, em inglês: Philosophy of chemistry is a new field that can inform chemistry education about philosophical themes that are crucial aspects of the science of chemistry. Trends in the treatment of models in chemistry education highlights the need for reconceptualizing the teaching and learning of chemistry to embrace chemical epistemology, a potential contribution by philosophy of chemistry. (ERDURAN, 2001, p. 590)

De todos os modelos psicopedagógicos que foram praticados em seus devidos momentos, como a aprendizagem por transmissão (1950), aprendizagem por descoberta (1960) e aprendizagem por mudança conceitual (1980), foi a aprendizagem por transmissão que se perpetuou mesmo com resultados insatisfatórios na aprendizagem. Inclusive, com a academia científica ciente de que neste modelo houve pouca ou nenhuma abertura para discussões históricas e filosóficas, sobre o ensino em ciências (LOGUERCIO e DEL PINO, 2006). Estes modelos lógico-positivistas de meados do século XX reduziram a experimentação a uma mera observação, privilegiando a construção da teoria e negligenciando o vínculo afetivo-cognitivo do desempenho experimental (HOFFMANN, 2007).

A filosofia da ciência foi modulada e identificada através da física teórica, inclusive os filósofos em educação química apresentam muitas características da química física. Em contrapartida, foram as discussões filosóficas do início do século XX, que trouxeram perspectivas promissoras nos anos de 1980, principalmente no que diz respeito à história da ciência (HOFFMANN, 2007).

Foi neste período que a História e Filosofia da Ciência começaram a emergir em debates e pesquisas científicas, ganhando destaque em documentos oficiais e não oficiais. No caso do Brasil, como já mencionado anteriormente, encontram-se os seguintes documentos: Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) e o documento mais recente, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Embora documentos oficiais internacionais abordem o tema há pelo menos três décadas, na prática não se vê a sua aplicabilidade. O que se vê é um tímido esforço para que a prática se alinhe à teoria, e assim, se introduza a História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências, pois o aspecto ahistórico do ensino de química se deve à marginalização da história dentro da própria Química (ERDURAN, 2001). Como a filosofia da química é uma ciência recente, existe uma longa estrada a ser trilhada para alinhá-la ao ensino e adentrar às novas perspectivas da epistemologia química. A introdução de HFC no ensino de química, se justifica pela desmotivação dos alunos no processo de aprendizagem, porque na prática o conhecimento científico é transmitido de forma a construir uma imagem de neutralidade empírica, algorítmica e exata, ahistórica, cumulativa e linear, socialmente neutra. A HFC surge com um papel minimizador de tais características, mas o indivíduo que fizer uso da história da

química deve se precaver para que reducionismos históricos sejam evitados (GIL-PÉREZ, 1993).

No ensino usual da química é escassa a utilização de recursos históricos, estando ausentes em muitos livros de textos, e quando utilizados se referem a aspectos históricos “internos” da ciência (ênfase na visão internalista da ciência), como biografias, anedotas, inventos técnicos, ou de alguma área conceitual específica como modelos atômicos (LOGUERCIO e DEL PINO, 2006, p.68).

Portanto, essa incoerência do real para o que se é ensinado, apontam questionamentos que levam a mudanças de currículos e busca por diferentes estratégias para se abordar determinados temas. Sendo assim, não se pode deixar de falar sobre dois termos usuais que circundam as abordagens da HFC no ensino, que são “contextualização” e “cotidiano”.

Para compreender um pouco melhor o uso destas palavras, Wartha, Silva e Bejarano (2013) analisaram como e quando “cotidiano e contextualização” passaram a ser amplamente utilizados em educação química. Contextualização só passou a ser utilizado após o PCNEM (Brasil, 1999) e PCN+ (Brasil, 2002). Cotidiano surgiu em 1992 na Proposta Curricular de São Paulo para o Ensino de Química 2º Grau, nos trabalhos de Lutfi (1988) e em projetos de grupos de pesquisa como o Proquim (1982) e o Gepeq (1993), que foram desenvolvidos baseados na importância do cotidiano para o ensino de química. Foi após a promulgação do PCNEM 1999 que o termo cotidiano passou a ser utilizado como contextualização. Cotidiano e contextualização são utilizados para aproximar o conteúdo científico da vivência dos estudantes, procurando promover uma aprendizagem significativa. A contextualização é utilizada, muitas vezes, como uma situação introdutória de determinado assunto, para torná-lo atrativo para os alunos, procurando ilustrar o cotidiano que representa os fenômenos da natureza presentes na rotina deles.

Nessa perspectiva, adotar o estudo de fenômenos e fatos do cotidiano pode recair numa análise de situações vivenciadas por alunos que, por diversos fatores, não são problematizadas e conseqüentemente não são analisadas numa dimensão mais sistêmica como parte do mundo físico e social (WARTHA; SILVA; BEJARANO, 2013, p. 85).

Lopes (2002) expõe que o conceito de contextualização se desenvolveu pelo MEC devido a apropriação de discursos e documentos oficiais de ensino. Várias concepções estão relacionadas ao termo contextualização como: Paulo Freire, Piaget,

Vigotsky, além da perspectiva CTS. Podendo verificar a estreita relação do termo, com a pedagogia transformadora social defendida por Paulo Freire, ao observar os três momentos pedagógicos: problematização, organização e aplicação do conhecimento.

Tais concepções de contextualização se originaram dos contextos significativos apontados por esses autores para o ensino de ciências: realidade, vida, vivência, mundo, cotidiano, trabalho, cidadania, contexto social, contexto histórico e cultural, conhecimentos prévios do aluno e disciplinas escolares (WARTHA; SILVA; BEJARANO, 2013, p. 87).

Logo, o mais adequado é que cotidiano seja utilizado com uma abordagem cognitivista e problematizadora. Por toda variedade de concepções que o termo contextualização se permite incorporar, pode ser um dificultador ou facilitador na abertura de possibilidades de mediação didática. Refletir sobre os aspectos da vida cotidiana pode ter um alto potencial a ser explorado pelo ensino de química, logo não se limita a exemplificação, nem tão pouco como um recurso motivacional e/ou camuflador do ensino com os fenômenos do dia a dia (WARTHA; SILVA; BEJARANO, 2013).

Importante salientar que o ensino do conhecimento químico deve estar inserido na realidade, o que não significa um:

[...] reducionismo que virou modismo: Química do cotidiano (às vezes, apenas de utilitarismo), mas ensinar a Química dentro de uma concepção que destaque o papel social da mesma, através de uma contextualização social, política, filosófica, histórica, econômica e (também) religiosa (CHASSOT, 2003, p.50).

A abordagem química sob o prisma contextualizador, estabelece espaços de reflexão em sala de aula, onde o aluno tem a possibilidade de construir o seu conhecimento através de uma investigação dirigida. A História e Filosofia da química podem trazer temas com potencialidades para a aplicação do cotidiano, auxiliando na aproximação da química com o aluno.

A história da química, numa perspectiva filosófica e reflexiva, deve ser aplicada como uma ferramenta para ensinar, pois estudantes envolvem-se com histórias e podem aprender através delas. O discente perceberá, assim, que os químicos que estudaram essas teorias foram seres humanos, que possuíam atitudes humanas, que erravam e acertavam (KAVALEK *et al.*, 2015, p. 9).

Erduran (2001) relata que na sala de aula o conhecimento químico é algo desconhecido para os alunos, visto que, por muito tempo, e ainda hoje, determinados

assuntos como estrutura, ligação e reatividade química são explicados através de orbitais moleculares e atômicos da química quântica, mesmo que há três décadas, a química qualitativa tem se colocado em oposição à química quântica. Isto porque não possui argumentos novos para explicar a reatividade dos elementos e previsões do comportamento físico ou químico dos elementos.

O ensino de química ainda se utiliza predominantemente de conceitos, leis, fórmulas desconexas da realidade, repetição na resolução de exercícios e memorização. Um ensino acrítico, que não contribui para a construção do conhecimento e o desenvolvimento de competências e habilidades dos alunos. Para ir além desse ensino tradicional o professor precisa planejar e desenvolver atividades que promovam a aprendizagem significativa<sup>17</sup>. A história da ciência tem sido uma alternativa eficaz para romper com o ensino tradicional, desmistificando a construção da ciência, além de humanizá-la e criticizá-la (CALLEGARIO *et al.*, 2015).

Para Loguercio e Del Pino (2006) a abordagem tradicional priva a química de interesses filosóficos ameaçando sua autonomia, além de torná-la secundária em relação à física enquanto disciplina científica. Ao desconsiderar aspectos históricos, o ensino de química vem pautado de construções equivocadas dos conceitos e do fazer ciência. A abordagem histórica da química tem um excelente valor pedagógico, com significado cultural e com contribuição para a compreensão epistemológica da construção do conhecimento. Os aspectos históricos e filosóficos apresentam certa complexidade interdisciplinar, que não é explorada e discutida significativamente de forma a atingir a formação dos professores, e, conseqüentemente, alcançar os alunos do nível médio.

É comum entre os educadores, ao explicarem teorias e/ou modelos não o fazerem de forma significativa, mostrando a construção dos conceitos utilizando dados primários, comparações e relações, geralmente não consideram aspectos históricos nem estabelecem conexões com a prática. Contudo, inúmeros equívocos são observados não apenas entre alunos, mas, sobretudo entre os professores. Por isso se faz necessário uma reformulação no currículo de formação docente (KVALEK *et al.*, 2015).

---

<sup>17</sup> Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino médio (PCNEM) os conteúdos químicos devem ser ensinados de forma criativa, explorando a vivência cotidiana e a tradição, de modo a promover mudanças nas perspectivas de mundo dos educandos.

A falta de autonomia da química, a qual é reduzida à física e à matemática, pouco é alertada nos cursos de formação. Embora não seja o objetivo deste trabalho dialogar sobre a formação de professores, o inevitável acontece porque tudo está interligado. Para que haja uma menor rejeição e maior argumentação histórica e filosófica, além dos recursos usuais matemáticos e físicos, os educadores em química devem contar com dispositivos de desenvolvimento para as suas práticas docentes. Para este processo ocorrer, os cursos de formação inicial e continuada de professores de química precisam de abertura para tais discussões. No entanto, quando há uma abordagem de discussões filosóficas no campo químico, estas ocorrem através de autores que se apropriaram da física para tais abordagens como Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Paul Feyerabend, Karl Popper, entre outros. As discussões destes autores são importantes em um âmbito maior, como filosofia da ciência, contudo ao estreitar o campo científico pode-se recair na redução ontológica e epistemológica (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013).

Um filósofo importante que se enquadra na filosofia da química é Gaston Bachelard, ele eleva os pensamentos sobre a influência do realismo na Química. Dificilmente um químico é cético ao realismo, pois entendem a visão simbólica de representar moléculas e a diversidade das maneiras em observá-las. Existe, no químico, um realismo intuitivo que é resultado da percepção sensorial embutido na transformação química (HOFFMANN, 2007).

Os químicos apresentam uma especificidade na natureza do pensamento que advém de suas práticas de pesquisa, e não necessariamente são características disciplinares. As práticas experimentais que moldam o pensamento químico podem contribuir no delineamento da filosofia da química, neste sentido Bachelard apresentou, dentre as suas diversas contribuições, o termo "*metaquímica*" em contrapartida à metafísica. Enquanto a metafísica tem olhar unilateral da matéria, a metaquímica observa a pluralidade das substâncias que tem uma relação direta com o sujeito, ou seja, quando o químico utiliza de seus conhecimentos empíricos para a realização de experimentos constrói-se uma relação dialética com as substâncias. A preocupação de Bachelard não foi colocar a química no centro da filosofia das ciências, mas sim fazer emergir novas abordagens da ciência (BENSAUDE-VINCENT, 2014).

É importante destacar que a química não é direcionada apenas pela experimentação (coleta e interpretação de dados), os alunos precisam compreender

que os químicos modelam a estrutura e função da matéria. É comum no ensino de ciências o não envolvimento dos alunos nos processos de investigação científica que geram os conceitos e princípios ensinados em sala de aula, no caso da experimentação, é realizada como se fosse uma receita (ERDURAN, 2001).

Parece muito forte no ensino da Química a opção pelo realismo ingênuo em relação às representações químicas; o que aparentemente se mantém mesmo na universidade. Esta é uma situação que se contrapõe à produção do conhecimento químico ao longo da História, que precisou romper, muitas vezes, com o real dado e aparente. (OKI e MORADILLO, 2008, p. 84).

É observado que pouco a pouco tópicos da filosofia da ciência têm sido introduzidos em livros didáticos, contrabalanceando a exclusividade da física, surgindo uma diversidade epistêmica (BENSAUDE-VINCENT, 2014). Mudanças como esta, trazem à luz renovações no âmbito escolar que propiciam melhorias, quando não, debates educacionais. A filosofia da química vem neste sentido, como uma perspectiva de renovar e reestruturar o ensino de forma a introduzir discussões que refletem positivamente na aprendizagem de conceitos, teorias e procedimentos científicos (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013).

Desse modo, então, não apenas a química e a filosofia são miscíveis, como um trabalho conjunto de químicos, historiadores e filósofos da química já produziu importantes resultados para compreender em profundidade a natureza da disciplina e, dessa forma, introduzir enfoques mais amplos tanto no ensino como na pesquisa (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013, p. 1256).

Interessante é que a filosofia vai possibilitar a reflexão de que as substâncias não são apenas produzidas em laboratório por conhecimentos empíricos, racionais, mas são produzidas naturalmente e encontradas na natureza com características e propriedades singulares, diferentes de seus átomos ou substâncias que lhes deram origem. Além do mais, as substâncias e átomos apresentam comportamentos que dependem do que está a sua volta, suas características mudam conforme seus vizinhos (BENSAUDE-VINCENT, 2014).

Para entender o mundo material em que vivemos, necessitamos de noções mais aprofundadas de substância, por exemplo, uma noção de como os cientistas chegaram a essas substâncias, como as identificamos e como as projetamos frente ao futuro num mundo que está em constante processo de construção (KVALEK *et al.*, 2015, p. 6).

A filosofia traz as reflexões necessárias sobre o que é essencial nas análises de leis, teorias e modelos, procurando situar a química em um conjunto de ideias culturais e históricas (KAVALEK *et al.*, 2015). Neste sentido a ligação química proporciona um estudo epistemológico, que será apresentado brevemente a seguir. Como por exemplo, a maneira pela qual se constrói este conceito, quais são as influências recebidas no processo de construção, as problemáticas que envolvem o tema, principalmente em relação aos aspectos que envolvem a sala de aula. Quando se fala em ligações químicas no ensino médio, o professor precisa reconhecer qual é o nível de abstração dos alunos, porque encontramos em materiais didáticos os modelos científicos prontos e acabados. A transitoriedade entre os níveis submicroscópicos e macroscópicos fica limitada, impossibilitando, muitas vezes, que o aluno faça conexões entre estes níveis.

Vamos fazer um breve relato sobre a construção científica da ligação química e seus aspectos qualitativos encontrados nas ideias de Lewis, e, quantitativos advindos da mecânica quântica. Além de, apontar divergências vivenciadas no início do século XX ao redor do desenvolvimento científico dos modelos de ligação química. Embarquemos no panorama a seguir, pois não nos é apresentado no ensino médio nem na formação de professores tais informações históricas, o que pode tolher o pensamento científico crítico dos estudantes de ambas as esferas.

### **1.8 Uma breve história da ligação química**

Ligações químicas são fundamentais para entender o comportamento da matéria (HENDRY, 2008), talvez por isso tenha se apresentado ao longo da história um mistério a ser desvendado. Antes mesmo do surgimento da ideia de ligação química, se pensava que as substâncias reagiam por afinidade (JUSTI, 1998), ainda hoje alunos apresentam essa concepção, mas antes de definirmos isto como certo ou errado, vamos entender um pouco do desenvolvimento do conhecimento químico em relação a este conceito.

As mais antigas explicações sobre interações entre as substâncias, podem ser encontradas com os filósofos gregos Empédocles e Hipócrates (séc. V a.C.), que atribuíam sentimentos como amor e ódio aos elementos, acreditando que a atração ou repulsão das substâncias estavam relacionadas a estes sentimentos. No século posterior, Aristóteles (séc. IV a.C.) também cita fatores que podem influenciar a

ocorrência de transformação, encontrando afinidades e diferenças entre as substâncias. Estas ideias sobre afinidade influenciaram o pensamento de cientistas até o século XVII, passando pelo período alquímico com uma atenção voltada às transformações e formação de substâncias, revelando alguns registros de que as substâncias não se combinavam porque tinham sentimentos, mas por suas semelhanças (JUSTI, 1998).

Neste período, a química não tinha reconhecimento acadêmico na Europa, por isso que no século XVIII muitos químicos se aproximaram de outras áreas da filosofia, utilizando princípios da mecânica e astronomia, por exemplo. Para os filósofos naturais da época, as teorias tinham que ter embasamento experimental e/ou explicações mecânica, e se possível, matemática. Neste período uma representatividade científica era Isaac Newton, que compartilhava a ideia de que a matéria era constituída por partículas com forças de atração e repulsão, mantendo-as unidas ou não. Vários cientistas se apropriaram das convicções newtonianas, porque apresentavam fundamentos mecânicos, porém não explicava como as reações aconteciam. Foi neste contexto que os químicos passaram a aceitar as explicações mecânicas para as propriedades das substâncias e reações, se aproximando da física. “No século XVIII, sob a influência das ideias de Newton, vários químicos tentaram quantificar a força de afinidade ou atração, mas sem tentar modificar ou entender as teorias que existiam sobre tal força.” (JUSTI, 1998, p.28). Filosoficamente a química tentava se aproximar da exatidão da matemática e da física, entretanto para que a química crescesse como ciência, precisava sair da sombra da física e explicar com seus próprios problemas a estrutura da matéria (JUSTI, 1998).

Em 1718, Geoffroy apresentou uma tabela de afinidade, mas não usou este termo preferiu o uso de ‘harmonia’, classificando reações conforme a capacidade das substâncias de se unirem (JUSTI, 1998). A lei de Coulomb (1784) sugeriu através de seus experimentos um caráter elétrico para a ligação química (GILLESPIE e ROBINSON, 2007). Em 1789 Lavoisier mostra em seu livro, tabelas de afinidade que variavam de acordo com a temperatura, o significado para afinidade e atração já estavam definidos, no entanto suas causas ainda eram desconhecidas (JUSTI, 1998).

No início do século XIX com a aceitação da teoria do átomo de Dalton a química ganhava corpo como ciência, avançando nas análises experimentais de composições, fórmulas, reações e reatividade de substâncias (GILLESPIE e ROBINSON, 2007).

Bezerra e Silva (2001) apontam as principais contribuições para o desenvolvimento do caráter elétrico da ligação química do início do século XIX. Foram através de experimentos da decomposição da água por meio de uma corrente elétrica (eletrólise), de William Nicholson (1753-1815) e Anthony Carlisle (1768- 1840) que surgiram as primeiras noções de que a ligação química tinha natureza elétrica. Jöns Jakob Berzelius (1779-1848), desenvolveu em 1811 uma teoria elétrica de atração, imaginou que cada átomo consistia em um ou mais polos elétricos, onde cargas positivas e negativas localizavam-se em partes opostas dos átomos, cuja interação ocorreria entre as cargas opostas deles, resultando na neutralização das moléculas. O mesmo Berzelius em 1818 desenvolveu outra teoria, a chamada teoria eletroquímica da ligação (teoria dualística), nela todos os átomos eram carregados positivo ou negativamente. A combinação só ocorreria entre átomos de cargas opostas, visto que elas se atraem, e as cargas iguais se repelem. Esta teoria foi aceita por químicos e físicos, mas não podia ser aplicada às moléculas diatômicas propostas por Avogadro, pois se um determinado átomo fosse negativo ou positivo não poderia se ligar a ele mesmo.

Meados do século XIX se iniciou a explicação do comportamento das substâncias através da estrutura molecular, em contrapartida ainda não se sabia de fato qual era a natureza física que mantinham unidas essas estruturas (HENDRY, 2008). Ocorreu o desenvolvimento de algumas ideias como a 'afinidade seletiva' com Archibald Scott Couper em 1850 (JUSTI, 1998), o mesmo que convencionou pela primeira vez o traço entre os átomos para representar a ligação química, em 1858. Logo depois, em 1861, Crum-Brown também se utilizou da mesma representação que, quimicamente falando a ligação química não é real, ela é a expressão de uma ideia da união entre os átomos (GILLESPIE e ROBINSON, 2007). Frankland em 1852 propôs que um determinado átomo tem possibilidade definida (valência) para combinar com outros átomos. Seis anos depois Kekulé e Couper, um independente do outro, introduziram a ideia de valência na ligação. Em 1861, Butlerov usou pela primeira vez o termo "estrutura química", sugerindo que as propriedades de um composto estavam relacionadas à sua estrutura molecular (PAULING, 1954).

Além da ideia sobre 'afinidade seletiva', encontramos o pensamento sobre a distinção entre valência e afinidade de Wurtz em 1869 (JUSTI, 1998). Desse modo, a ideia de uma força atraindo os átomos se consolidava, além de tornar evidente que

determinados elementos poderiam fazer um número característicos de ligações, chamado valência (GILLESPIE e ROBINSON, 2007).

O desenvolvimento dessas ideias na segunda metade do século XIX fragmentou a questão em energia química (termoquímica e termodinâmica química) e estrutura química (estereoquímica e teoria de valência), todas de alguma forma originadas da vaga ideia de afinidade (JUSTI, 1998, p.28).

As fórmulas estruturais de valência ganharam maiores interpretações com o desenvolvimento da estereoquímica, ou seja, maior poder explicativo nos arranjos espaciais dos átomos. O sucesso da teoria estrutural da química orgânica desenvolveu um importante papel teórico na característica da ligação química, e, se estendeu até a tentativa, não muito bem sucedida, de analisar os compostos inorgânicos de maneira semelhante (HENDRY, 2008). A teoria que explicava a atração elétrica foi caindo em popularidade, muito em função do surgimento da química orgânica. Porém, este ramo da química tinha como principal preocupação a análise de número, tipo e arranjo dos átomos das substâncias, não considerando nenhuma teoria elétrica de atração. A representação da ligação era apenas uma linha, como os átomos de carbono são semelhantes não havia cargas opostas para os unirem, sendo assim, a teoria de atração era enfraquecida (BEZERRA e SILVA, 2001).

Em 1881, Hermann von Helmholtz (1821-1894) convocava os químicos da época para um retorno às ideias iniciais de Berzelius, que sugeriam uma identidade entre as forças de atração e eletricidade. O químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927), afirmava que suas experiências eletrolíticas com soluções aquosas também indicavam que as forças atrativas entre os átomos eram de natureza elétrica (BEZERRA e SILVA, 2001, p. 180).

Ambos os cientistas afirmaram que as ligações químicas apresentavam caráter elétrico, mas eram poucas as evidências para esta conclusão. Quando em 1891, a partir de experiências eletrolíticas de Arrhenius, Alfred Werner (1866-1919) desenvolveu a “teoria da coordenação” que introduziu os conceitos de valência primária e secundária, número de coordenação, compostos de adição e intercalação. Anos depois em 1897, Joseph John Thomson (1856-1940) em suas pesquisas verificou a existência de partículas negativas nos átomos, os elétrons. Em sua teoria apontou o elétron como responsável pela atração entre os átomos, onde um átomo doava elétron ficando carregado positivamente e o outro recebia ficando carregado negativamente, assim os átomos teriam cargas opostas que os manteriam unidos (BEZERRA e SILVA, 2001).

Estes foram os avanços significativos sobre as características e representações das ligações químicas, verificamos descobertas promissoras, mas sem dúvida as maiores e mais sólidas conquistas científicas sobre o tema aconteceram no século XX.

Lewis, em 1902, ao tentar explicar a periodicidade na tabela periódica de Mendeleev (1871), propôs que os átomos apresentavam certa estabilidade quando em sua camada de valência tivesse oito elétrons, como os gases nobres descobertos por Ramsay (1894-1898). Lewis ainda não tinha argumentos suficientes para explicar a natureza das ligações químicas até ser publicado seus artigos em 1913 e 1916, período em que foi difundida a ideia do átomo de Rutherford (GILLESPIE e ROBINSON, 2007). Johannes Stark (1874-1957) sugeriu em 1903, que a ligação química é o resultado do compartilhamento de um elétron por um par de átomos, sendo representado por linhas com maior número delas entre o elétron e o átomo mais eletronegativo e um menor número com o átomo eletropositivo (BEZERRA e SILVA, 2001).

Na Alemanha, o químico Richard Abegg (1869-1910) desenvolveu, em 1904, uma teoria eletrostática igual a de Thomson, que obteve grande popularidade entre os físico-químicos por ter observado que “o mesmo átomo em diferentes compostos tinha carga positiva ou carga negativa e que o somatório do módulo destas cargas frequentemente era oito” (BEZERRA e SILVA, 2001, p. 181). A ideia de que o elétron pudesse participar da ligação, esteve presente desde a descoberta dos elétrons por J. J. Thomson em 1897 (GILLESPIE e ROBINSON, 2007), e, após esta descoberta, houve uma dedicação intensa para explicar a ligação química através de uma teoria eletrônica (PAULING, 1954).

Podemos apontar alguns pesquisadores opositores à ideia de que os átomos se interagem por forças elétricas, como William Thomson (1824-1907), Edgar Fahs Smith (1856-1928), Louis Kahlenberg (1870-1941) e Roger Joseph Boscovitch (1711-1787) em que uma das teorias defendidas é a de que os átomos são pontos que se comportam conforme uma lei oscilatória. Bem como, cientistas que não aceitavam o átomo proposto por Dalton, dentre eles Wilhelm Ostwald (1853-1932). Até que toda evolução dos modelos atômicos chegasse ao átomo proposto por Niels Bohr (1885-1962), muitos foram os questionamentos sobre a união dos átomos para formarem as moléculas (BEZERRA e SILVA, 2001).

A descoberta da difração de raios-X por von Laue, ajudou na determinação das estruturas de moléculas orgânicas, em 1912, assunto que já era bem discutido antes mesmo do uso de raios-X. Embora este cenário apresentasse avanços, ainda era desconhecida a composição e natureza dos átomos, conseqüentemente o tipo de força que os atraíam para formar as moléculas (GILLESPIE e ROBINSON, 2007).

Gilbert Newton Lewis em 1916, propôs a ligação simples entre dois átomos de carbono ou um átomo de carbono e um de hidrogênio representado por uma linha na fórmula estrutural, sugerindo que os átomos tendem a ficar com a configuração eletrônica de um gás nobre, por meio do compartilhamento ou transferência de elétrons, se dispondo ao redor do núcleo, tetraedricamente. As aplicações da teoria e contribuições vieram com Irving Langmuir e Nevil Vincent Sidgwick (PAULING, 1954).

Lewis (1916) faz uma breve relação de características das substâncias polares e não polares. Ele relata que quando comparadas separadamente, parecem desconexas, mas na verdade estão interligadas, cuja principal diferença é que na substância polar os elétrons dos átomos são atraídos por uma força fraca, permitindo-lhes mudar de posição e até mesmo de um átomo para o outro, produzindo um alto momento dipolar elétrico. Os elétrons se movem de forma a obter uma separação das moléculas em duas partes: positiva e negativa. Quando estas partes estão separadas a uma distância razoável, a atração entre elas ocorre formando um único agregado, logo sua atração intermolecular é muito alta, características que determinam as propriedades dos compostos.

Nas moléculas apolares os elétrons de um átomo não se afastam muito de suas posições originais. As substâncias polares com suas partes móveis voltam rapidamente para seus estados estáveis, já nas apolares as partes são mantidas firmemente (são inertes e não reativas), são estas substâncias que fazem parte da química orgânica. Compostos orgânicos que possuem em especial os átomos de oxigênio e nitrogênio, também os insaturados, apresentam pelo menos uma parte polar da molécula. As moléculas polares, ao se aproximarem das não polares, as tornam com momento dipolar maior, esta característica se estende por todas as moléculas que se aproximam (LEWIS, 1916).

Foi a combinação das ideias eletrônicas com as ideias tradicionais sobre o vínculo, que Lewis muito contribuiu para a química. Ele introduziu um novo jeito de representar os elétrons por pontos, visualmente os dois pontos entre os átomos era muito atrativo para o trabalho dos químicos. É interessante observar que as ideias de

Lewis até o momento não tinham relação com a química quântica, nem mesmo com o átomo de Bohr, em suas ideias iniciais o átomo era estático. A aceitação deste átomo estático, não se deve ao não conhecimento do que estava acontecendo referente a teoria quântica, mas na verdade pelo ceticismo de alguns químicos como Thomson, Langmuir, Davey, Born, Landé e Parson em relação aos físicos (SUTCLIFFE, 1996).

A teoria de Lewis conseguiu desvendar com sucesso a participação dos elétrons na ligação de moléculas apolares. Nesta teoria os elétrons eram compartilhados entre os átomos, e, no caso de moléculas polares os elétrons da ligação ficariam mais próximos dos átomos eletronegativos. O motivo de Lewis propor que uma ligação química ocorre na presença de dois elétrons, é porque ele utiliza do modelo atômico estático. No mesmo ano, químicos reconhecem a existência dos elétrons de valência, o que garante uma novidade na teoria: a presença de pares de elétrons. Portanto uma ligação era possível com elétrons emparelhados, confirmando a não repulsão deles previsto pela Lei de Coulomb, outro aspecto era a ênfase nas camadas eletrônicas e não nos orbitais como na teoria de Bohr (BEZERRA e SILVA, 2001).

Lewis discutiu as divergências de duas teorias sobre afinidade eletrônica do século XIX. A teoria eletroquímica, em que a afinidade surge da transferência de elétrons entre os átomos resultando em uma maior estabilidade devido às cargas opostas, porém esta ideia não foi suficiente para explicar a estabilidade das moléculas homonucleares, por exemplo. E, as fórmulas de valência utilizadas para representar os compostos apolares, em que utiliza para a ligação apolar uma seta que indica um elétron passando de um átomo para outro. Isto não é verdadeiro, pois mesmo que fosse possível traçar o caminho de um elétron, uma ligação química não surge da passada do elétron de um átomo para outro, porque uma carga positiva atrai todas as cargas negativas que estão ao seu redor e não uma única apenas. Em um composto inorgânico a ligação é eletrostática, a ligação polar não é direcional (HENDRY, 2008).

Neste período havia uma crença de que todas as ligações químicas tinham uma mesma natureza, divergências que foram sendo esclarecidas através de diferentes abordagens (DEVANZO e CHAGAS, 1993).

Irving Langmuir (Prêmio Nobel em 1932) publicou um artigo alguns anos depois de 1916, que foi responsável por divulgar as ideias de Lewis, pois era um adepto admirador da teoria de Lewis. Durante esta defesa fervorosa acabou cometendo algumas distorções, como o caso da “regra dos oito” renomeado como regra do octeto,

em que ele praticamente não reconhecia as exceções, ao contrário de Lewis. Langmuir deu ênfase à regra do octeto não se atentando para as exceções como pensava Lewis, e esta atenção excessiva dada à regra do octeto pode ter retardado a descoberta das moléculas de gases nobres, ocorrendo em 1962 (DEVANZO e CHAGAS, 1993; GILLESPIE e ROBINSON, 2007).

Gillespie e Robinson (2007) apontam que durante o desenvolvimento das duas regras de Lewis algumas discussões em relação a elas poderiam ter sido evitadas, caso tivessem tido uma interpretação e aplicação adequada. E que, a regra de dois (par de elétrons) e a regra do oito (regra do octeto) de Lewis, abriram caminho para estudos que verificaram exceções para as duas regras, principalmente na do octeto, que quando foi apresentada teve grande utilidade que foi diminuindo com o passar do tempo.

O par de elétrons de Lewis era o conceito mais importante da química e ganhava respaldo da mecânica quântica, e as estruturas eletrônicas representadas por pontos como sendo os pares de elétrons e o traço como sendo a ligação química ficou reconhecida como estruturas de Lewis (GILLESPIE e ROBINSON, 2007). “Até 1920, a teoria de Lewis para a ligação química baseada no par eletrônico teve seus fundamentos qualitativos bem estabelecidos. Faltava a ela uma base teórica que lhe desse maior sustentação” (BEZERRA e SILVA, 2001, p.183). A base teórica teve início com o princípio da exclusão de Pauli<sup>18</sup> (Wolfgang Pauli, 1900-1958), juntamente com o desenvolvimento da mecânica quântica em 1925, mostrando-se uma base confiável para explicar a estrutura molecular (PAULING, 1954). E depois em 1927, o tratamento mecânico-quântico desenvolvido por Erwin Schrödinger (1877-1961), Walther Heitler (1904-1981) e Fritz London (1900-1954), para a molécula de hidrogênio revelando que tais equações não podiam ser aplicadas para todo tipo de molécula, mas apenas para as mais simples. Esse estudo foi base para o sucesso das contribuições de Linus Pauling (1901-1994) para a compreensão da natureza das ligações químicas (BEZERRA e SILVA, 2001; PAULING, 1954).

O modelo estático do átomo pensado por Lewis não se encaixava ao modelo atômico de Bohr, porque para Lewis parecia evidente que assim como a estrutura das moléculas era rígida, os elétrons também apresentariam esta mesma característica. Foi em 1923 que ele reconheceu que as duas teorias poderiam se complementar.

---

<sup>18</sup> dois elétrons em um átomo não podem ter valores idênticos para os quatro números quânticos.

Tanto a ideia de Lewis quanto a de Bohr, foram substituídas pelo princípio da incerteza, onde a densidade de elétrons na molécula é estática, porém os elétrons em movimento rápido (GILLESPIE e ROBINSON, 2007).

A regra do octeto não apresenta, devido às exceções e limitações, um caráter universal, logo não é tão utilizada quanto a regra dos pares eletrônicos. Apesar da mecânica quântica, a estrutura de Lewis resistiu, pois é útil para prever estruturas e geometrias aproximadas das moléculas (GILLESPIE e ROBINSON, 2007). Conforme Gillespie e Robinson (2007), a ligação química ainda é um conceito qualitativo, não podendo ser definido como exatidão.

Na busca por respostas exatas, a mecânica quântica do século XX parecia ter desvendado o mistério, ao tratar as moléculas como sistemas de elétrons e núcleos que interagem eletrostaticamente. Embora a mecânica quântica conseguisse explicar matematicamente o comportamento molecular através da equação de Schrödinger, pelas funções de onda, a equação não conseguiu explicar moléculas mais complexas, o que acarretou métodos aproximados a partir da década de 1930, para desvendar o mistério da ligação química. Esta aproximação nos resultados pode ser interpretada pela teoria clássica, mas a dúvida que fica é se a ligação química foi projetada para a realidade da teoria quântica ou clássica (HENDRY, 2008).

Hendry (2008) declara que duas respostas podem ser esboçadas, a primeira é em relação à explicação para as estruturas químicas de forma unificada que a realidade clássica apresenta e a quântica não consegue explicar por si só. A segunda é a que identifica ligações como algo menos problemático em termos físicos, visto que a função das ligações é explicar a estabilidade molecular.

Com a ascensão da mecânica quântica, Linus Pauling se apropria dela para explicar a ligação química, utilizando-a, em 1931, para justificar cálculos detalhados acerca da ligação química de moléculas diatômicas (HENDRY, 2008). No período correspondente entre 1925 e 1950 contribuições a respeito da estrutura molecular foram feitas, em parte baseada empiricamente em fatos interpretados sob a óptica da mecânica quântica (PAULING, 1954).

Foi Pauling quem teve o papel de reconciliar as ideias de Lewis com a mecânica quântica, em uma sequência de artigos publicados entre 1928 e 1933. Ele introduziu com excelência, o cálculo de Heitler-London na ideia da ligação do par de elétrons ao tratar da sobreposição do orbital, aproximou a mecânica quântica da química de forma complementar e não com rivalidade (SUTCLIFFE, 1996). Lewis e Linus Pauling

tiveram um papel revolucionário da química, porque transformaram o entendimento dos conceitos de ligação química e estrutura molecular (GILLESPIE e ROBINSON, 2007).

Houve uma evolução no âmbito computacional da ligação química, quando em 1951, Coulson além de compartilhar as ideias de orbitais híbridos nas ligações e estruturas moleculares, considerou a densidade de carga eletrônica como sendo responsável pela formação da ligação química. Nos 10 anos seguintes, grandes desenvolvimentos computacionais para cálculos da estrutura atômica molecular foram atingidos, e foi neste contexto que Coulson distinguiu dois grupos de químicos quânticos, um que queria fazer os cálculos mais precisos possíveis e o outro que acreditava nos conceitos elementares da química (SUTCLIFFE, 1996).

A evolução conceitual da ligação química pode ser analisada em duas etapas: a primeira refere-se ao século XIX, expressa pelo par compartilhado de elétrons na estrutura de Lewis; a segunda é a associação que Pauling fez com a mecânica quântica e os pares compartilhados, gerando novos significados a respeito de ligação química como o comprimento, energia e vibrações (HOFFMANN, 2007).

Atualmente as teorias sobre ligações químicas estão baseadas na proposta de G.N. Lewis de 1916, a qual ocorre pela união de pares de elétrons, representada por dois pontos ou uma linha entre os símbolos dos elementos, os elétrons ficam dispostos ao redor do átomo de forma a minimizar a repulsão. Nesta ideia encontra-se a regra do octeto, onde o número máximo de elétrons de valência seria 8, com exceção do (H e He) (TOMA, 1997).

Passando por toda a história desde os primeiros pensamentos a respeito da afinidade das substâncias lá no século V a.C., até os dias atuais podemos verificar, que conceitos estabelecidos lá no passado ainda perdura no presente, mesmo que eles já tenham sido aprimorados ou desqualificados cientificamente. Nos revelando uma distorção de conceitos por causa da transmissão superficial da construção do conhecimento científico.

### **1.9 História da ligação química e o ensino**

É notório que a mecânica quântica trouxe um grande avanço nas pesquisas a respeito da ligação química, mas o presente estudo está voltado para os aspectos qualitativos da interação entre os átomos, pois segundo Toma (1997), do ponto de

vista cognitivo, para o ensino médio o aspecto qualitativo é mais substancial do que a abordagem quântica. Para uma explicação qualitativa, o modelo de Lewis é útil, no entanto quando se trata de questões energéticas, geométricas ou aspectos de natureza espectroscópica, uma abordagem quântica em termos de combinação de orbitais se faz necessária. Conceitos como a Teoria do Orbital Molecular proposta por Mulliken em 1932 e a equação de Schrödinger para explicar os aspectos energéticos, apresentam uma complexidade que exigem uma abstração e um aprofundamento de conhecimento que perpassa os objetivos da educação básica.

São muitos os destaques teóricos que vão desde a concepção clássica de Lewis até as concepções da mecânica quântica (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013). O caminho percorrido para a construção das teorias se encontra oculto no ensino, negligenciando a importância dos aspectos da natureza da ciência, conseqüentemente revelando um abismo entre os conceitos construídos historicamente e o processo de ensino-aprendizagem.

Arrigo (2018) diz que é importante constar nos currículos de química, a história e filosofia com o objetivo de promover nos estudantes um entendimento da Natureza da Ciência.

Para que a utilização desta abordagem contribua para o Ensino de Química, faz-se necessário enfatizar a construção da Ciência como uma atividade humana, portanto histórica, e não apenas como uma forma de descrever feitos ou descobertas científicas, sem um sentido social, cultural e ético (ARRIGO, 2018, p. 7).

Ligação química é um conceito de difícil interpretação, até mesmo entre as definições da mecânica quântica e clássica existem divergências, inclusive entre os modelos dentro da mesma concepção da mecânica quântica. Nos livros são encontradas algumas definições teóricas que não são caracterizadas com clareza, o que para os filósofos da química reforça uma abordagem insatisfatória, pois não resolve questões da natureza da ligação química (WEISBERG, 2008).

Se o desenvolvimento da ciência química ocorre através de construção dos conceitos equiparados por dados experimentais e situações reais do cotidiano (ARRIGO, 2018), por que ainda encontramos dificuldades em aproximar a química dos alunos conduzindo-os a uma reflexão de transformação do mundo através da ciência? A organização da química contemporânea e sua prática ocorrem através de modelos, eles são norteadores da compreensão de diversos fenômenos e de futuros

experimentos químicos (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013). Assim sendo, uma discussão envolvendo o significado e a construção histórica de modelos pode consolidar ideias científicas, esclarecendo conceitos que muitas vezes não são apresentados com solidez para um desenvolvimento cognitivo dos alunos. Fernandez e Marcondes (2006) diz que para estudar as moléculas, o estudante precisa ter condições cognitivas de transitar entre a observação e a formulação de modelos.

Os modelos apresentam características fundamentais para explicar fenômenos científicos, auxiliando na aprendizagem dos alunos que passam a entender como e porque os modelos são construídos, desenvolvendo a compreensão dos processos científicos empregados pelos modelos (ERDURAN, 2001). Não é objetivo desta pesquisa um aprofundamento sobre modelos científicos, por isso falaremos rapidamente sobre a utilização de modelos no tema 'ligações químicas'. Segundo Weisberg (2004) os modelos são formas de representar o mundo real com objetivo de compreender as relações entre teoria e prática. Um modelo pode ser descrito de várias formas, através de equações matemáticas, imagens, frases e/ou programas computacionais. Podem ser concretos ou abstratos, apresentando um conjunto de propriedades que mudam com o tempo, por exemplo o modelo dinâmico da estrutura das moléculas, em sua extensão e movimento.

Para melhor compreensão, Erduran (2001) faz uma análise do uso de modelos na sala de aula de química. Primeiramente, o autor aponta que os modelos são apresentados aos estudantes como sendo versões finais do conhecimento da matéria. "Dentro da estrutura tradicional de ensino, as motivações, estratégias e argumentos subjacentes ao desenvolvimento, avaliação e revisão de modelos químicos são negligenciadas" (ERDURAN, 2001, p. 588). Em segundo lugar, na grande maioria dos livros didáticos a distinção entre os modelos não é apresentada com clareza, trazendo-os de forma hibridizada. Terceiro, os modelos químicos têm sido sinônimos de bola e bastão usados para o auxílio visual fundamentado pela teoria piagetiana, em que estudantes no estágio operatório concreto necessitam de modelos concretos para compreender o abstrato, no caso a estrutura das moléculas. Ocorre que esse cenário apresenta três problemas: - os modelos físicos separam as informações conceituais inapropriadamente; - tanto os modelos químicos como os físicos subestimam a complexidade dos conceitos estruturantes envolvidos; - o argumento utilizado através da teoria de Piaget é inadequado, visto que os próprios químicos se utilizam de modelos físicos para a comunicação e compreensão da estrutura e função das

moléculas. Quarto, a ênfase dada a teoria quântica atribuindo a ela a solução para todos os problemas difíceis da química. Por fim, a experimentação em laboratório que raramente é entendida como uma atividade que faz uso de modelos, visto que é tipicamente implementada como coleta e interpretação de dados.

No caso da ligação covalente em que se usa o modelo da bola e da mola, é um modelo clássico, embora seja utilizado para descrever o fenômeno da mecânica quântica, que é a energia de alongamento da ligação. Aqui a ligação é a mola e os átomos são massas no final de cada ligação (WEISBERG, 2004). A noção de ligação química é importantíssima para entender a química, tanto a prática quanto a teoria. Por exemplo, as moléculas são formadas por átomos que estão conectados e são orientados por ligações covalentes. Os modelos de ligação de valência explicam que, ligações covalentes são formadas quando dois átomos isolados se unem a partir de uma redistribuição eletrônica, o que resulta em estabilização energética (WEISBERG, 2008).

A química carrega consigo a terrível característica de disciplina difícil, pois exige dos alunos operações de pensamento inter-relacionadas (LABARCA; BEJARANO; EICHLER, 2013). Johnstone (2000) diz que o desinteresse dos alunos está relacionado também à natureza da química, e, aponta três formas de se pensar a química, sendo que uma é complementar a outra. São elas: a) macro e tangível – se pode ver, tocar e cheirar; b) submicro – são os átomos, moléculas, íons e estruturas; c) representacional – símbolos, fórmulas, equações, manipulação matemática e gráficos.

Na esfera macro encontra-se os experimentos realizados no laboratório, mas para aprofundar o conhecimento químico o estudante precisa transitar pelo submicro e pelas representações, aí se encontra o impasse do processo de ensino de química (JOHNSTONE, 2000).

No tocante aos alunos, a aprendizagem das ligações químicas exige capacidade de abstração, bem como transição entre os níveis de representação da matéria, para que consigam pensar os fenômenos macroscópicos em nível atômico-molecular e representá-los por meio da linguagem química (PAZINATO, 2016, p.17).

Os alunos trazem consigo concepções alternativas, ou seja, explicam fenômenos da natureza que não tenha comprovação científica. Quando confrontadas, estas concepções com as explicações do professor, há um esforço de conectar suas

ideias com as científicas, e o resultado disto pode ser um conceito distorcido (FERNANDEZ e MARCONDES, 2006). Além do mais, a literatura está repleta de conceitos químicos equivocados, e apresentados de forma acrítica e não desperta o interesse dos alunos. O que pesquisadores e professores têm feito para reverter essa situação? O que parece é que há uma tentativa “lógica” em se ensinar química, e que é conflitante com a forma como as pessoas aprendem (JOHNSTONE, 2000).

Temos que concordar com a afirmação: “[...]se os estudantes não tivessem, por exemplo, durante três anos a disciplina de Química no ensino médio eles não seriam muito diferentes no entender os fenômenos químicos.” (CHASSOT, 2003, p.41). Chassot (2003) ainda continua dizendo que isso é recorrente em outras áreas de ensino, levando ao seguinte questionamento: - quanto o ensino está sendo (in)útil?

Embora avanços tenham acontecido na busca por soluções dos problemas referentes ao ensino de química, a verdade é que pouco resultado se tem obtido no sentido de despertar o interesse dos alunos para a química. Muitos ainda acreditam que não precisam de conhecimento em química para viver o seu cotidiano, e, talvez estejam certos (JOHNSTONE, 2000).

O despertar pode estar no envolvimento real dos alunos com a ciência, para isto, os aspectos históricos trazem esta aproximação, e os documentos oficiais de educação já abordam há décadas a importância de se utilizar a história da ciência na sala de aula:

[...] o que se pretende é levar o aluno a compreender e a reconhecer a natureza do conhecimento científico como uma atividade humana que, sendo histórica e socialmente construída, possui um caráter provisório, limitações e potencialidades, necessitando, pois, ser abordado em sua historicidade e em suas implicações na sociedade e em situações/ambientes diversificados (BRASIL, 2006, p. 124-125).

Quando, nas aulas de química, ensinamos sobre ligações químicas, precisamos enquanto professores fazermos uma reflexão sobre quais aspectos realmente importam e como evitar que nossos alunos construam conceitos equivocados. Caso não consigamos um resultado satisfatório no processo de ensino-aprendizagem, pelo menos temos que tentar minimizá-los. Com o auxílio do professor, os alunos precisam alcançar a seguinte percepção:

[...] na ciência não existe uma Verdade imutável, mas sim algumas verdades que são transitórias e que, inclusive, de tempos em tempos se modificam.

Aqui, é preciso que mostremos aos nossos alunos e alunas que algumas coisas que nós aprendemos (e até já ensinamos), hoje, têm explicações diferentes. É recomendável que se mostre que, à medida que são facilitadas as nossas possibilidades do universo, há necessidade de mudar nossos modelos de interpretação da natureza (CHASSOT, 2003, p. 276).

Toma (1997) aponta que são três características que compõem uma ligação química: polaridade, distância e energia. E ressalta:

A visão sobre a ligação química não pode se restringir ao compartilhamento de um par de elétrons entre dois átomos, ou à ideia de um par de elétrons ocupando um orbital molecular formado pela combinação de dois orbitais atômicos (TOMA, 1997, p.11).

Uma visão crítica e expandida da natureza da ligação química passa pela formação do professor. “[...] acredito na relevância de nós, professores e professoras, conhecermos mais sobre a história da ciência a fim de melhor nos capacitarmos para entender e discutir algumas das ideias expressas em nossas salas de aula” (JUSTI, 1998, p.29).

A formação de professores precisa incluir discussões explícitas sobre questões historiográficas, a fim de que os professores reflitam criticamente sobre os vieses de que os materiais didáticos que utilizam em sala de aula são portadores. Só assim o professor poderá tomar decisões conscientes sobre o tipo de história que contribui para o alcance dos seus objetivos educacionais (BALDINATO e PORTO, 2015, p.168).

Podemos observar que os materiais didáticos disponíveis apresentam a ligação química, assim como outros temas, como um conceito estritamente físico, estático e definitivo. “Poucas pesquisas se propõem a desenvolver propostas didáticas para a abordagem das ligações químicas, o que reflete na falta de alternativas disponíveis na literatura para o professor” (PAZINATO, 2016, p. 21)

Uma das conclusões de Pazinato (2016) em sua pesquisa foi que:

[...] o ensino e a aprendizagem do conteúdo de ligações químicas não estão ocorrendo de forma eficaz. Ainda, reforçam a tese de que o tópico possui grande potencial para gerar concepções equivocadas ou alternativas aos modelos científicos. Essas constatações apontam para a necessidade de mais pesquisas sobre o tema em questão (PAZINATO, 2016, p. 15)

Partindo do pressuposto e das constatações de estudos, como os citados acima, de que o ensino sobre ligação química está aquém do esperado, sentimos a necessidade de averiguar se a história da ligação química está sendo utilizada como

um recurso facilitador do processo de ensino-aprendizagem. Portanto, decidimos por uma revisão sistemática como ponto de partida, para termos condições de apontar as reais necessidades e averiguar intervenções que possam ser aplicadas e/ou adaptadas para a nossa realidade.

## 2 Objetivos

A presente pesquisa tem como objetivo geral:

- ✓ Fazer um levantamento de investigações que utilizam a História da Ciência no ensino de ligação química;
- ✓ Identificar possíveis situações de aprendizagem que façam uma relação entre a História da Ciência e ligação química no ensino médio.

Para que sejam alcançados os objetivos acima, apresentam-se os objetivos específicos:

- ❖ Verificar se a História da Química está sendo abordada na temática ligações químicas para o ensino médio;
- ❖ Analisar sugestões e críticas da literatura sobre o uso da História da Ciência no ensino de ligação química.

### 3. Aportes teóricos

#### 3.1 Revisão da literatura tradicional ou narrativa

“Pesquisa é um processo de etapas usado para coletar e analisar informações que aumentam a nossa compreensão de um tópico ou problema” (CRESWELL, 2012, p. 3). A pesquisa é um adicional ao conhecimento, podendo fornecer um estudo ainda não realizado que vai preencher um espaço vazio em determinada área, trazer resultados que confirmam ou não, estudos anteriores. A pesquisa também melhora a prática, quando professores leem estudos de pesquisas, aprendem sobre novas práticas (CRESWELL, 2012).

Um autor pode apresentar uma revisão da literatura tradicional ou narrativa por n motivos, Aromataris e Pearson (2014) apontam seis deles:

1. Apresentar conhecimentos gerais de um tópico;
2. Mostrar a história de desenvolvimento de determinado conhecimento;
3. Identificar contradições, a falta ou inconclusões de evidências;
4. Verificar se há consenso ou debate sobre o tópico;
5. Identificar características ou relações entre conceitos em estudos sobre determinado tema;
6. Justificar o motivo da pesquisa ser relevante.

As causas impulsionadoras para a realização de uma pesquisa passam por etapas, que de acordo com a literatura cada autor enumera conforme seus critérios, mas é possível verificar uma espinha dorsal presente em todos os tipos de pesquisas. Segundo Creswell (2012), são seis etapas apresentadas em um processo de pesquisa.

**Quadro 2.** Etapas para realizar uma pesquisa.

6 ETAPAS PARA REALIZAR UMA PESQUISA (CRESWELL, 2012)	
1.	Identificar o problema de pesquisa;
2.	Revisão da literatura;
3.	Especificar o objetivo da pesquisa
4.	Coletar dados
5.	Analisar e interpretar os dados
6.	Relatório e avaliação da pesquisa

**Fonte:** Elaboração própria.

A pesquisa é um grande quebra-cabeça e as etapas do processo são os conjuntos de peças a serem encaixados (CRESWELL, 2012).

### 3.2 Revisão Sistemática

A busca por melhoria na área do ensino, promoveu outras maneiras de selecionar estudos, pois, atualmente, são inúmeras as produções científicas sobre uma mesma temática. O que conduz à realização de Revisões Sistemáticas (RS), que tem a intenção de coletar e sintetizar as evidências científicas de determinada temática (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO; TAKAHASHI; BERTOLOZZI, 2011).

Denomina-se revisão sistemática da literatura a revisão planejada da literatura científica, que usa métodos sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar criticamente estudos relevantes sobre uma questão claramente formulada (SOUSA; RIBEIRO, 2009, p.241).

A realização de uma RS passa por uma metodologia criteriosa que busca:

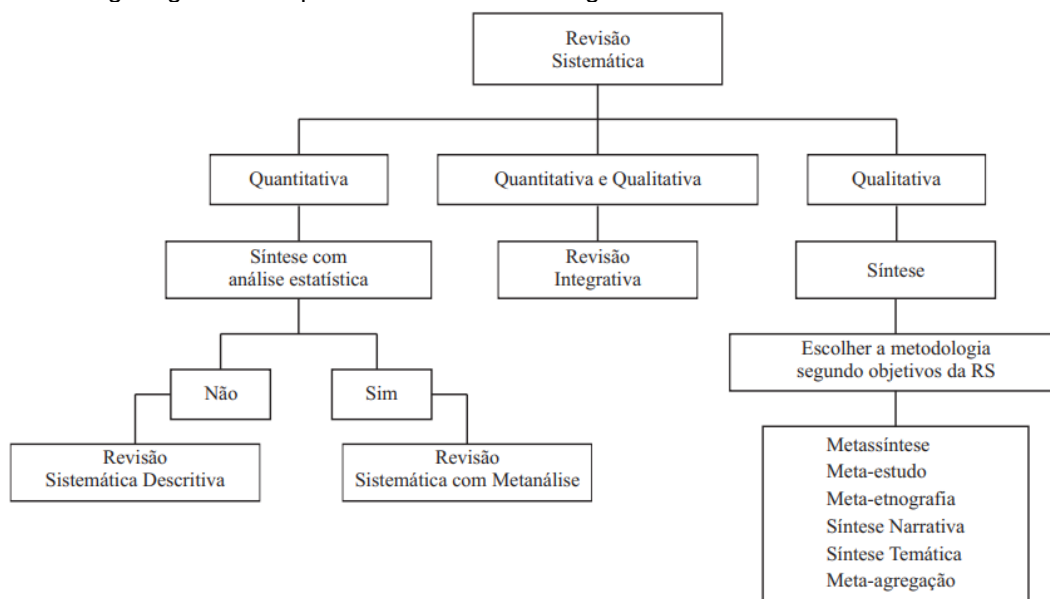
[...] identificar os estudos sobre um tema em questão, aplicando métodos explícitos e sistematizados de busca; avaliar a qualidade e validade desses estudos, assim como sua aplicabilidade no contexto, onde as mudanças serão implementadas (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO; TAKAHASHI; BERTOLOZZI, 2011, p. 1261).

A revisão sistemática não visa criar conhecimentos novos, mas resumir e sintetizar o que já existe (KHAN *et al.*, 2003).

A abordagem da pesquisa vai depender da questão problema, pode ser quantitativa, quando o problema de pesquisa tende a buscar respostas para o porquê de algo, ou seja, sobre avaliação de intervenções, fazendo relações entre variáveis, verificando se uma intervém nas demais e vice-versa. Já na qualitativa, procura-se entender ou interpretar questões sociais que ocorrem a partir de um fenômeno e servem de subsídio para novas ideias, é adequada para responder uma questão de pesquisa em que não se conhece as variáveis, mas precisam ser exploradas (CRESWELL, 2012; DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO; TAKAHASHI; BERTOLOZZI, 2011).

Uma revisão sistemática pode ser direcionada para metodologias distintas, como apresentada no organograma:

**Figura 1.** Organograma das possibilidades metodológicas de uma revisão sistemática.



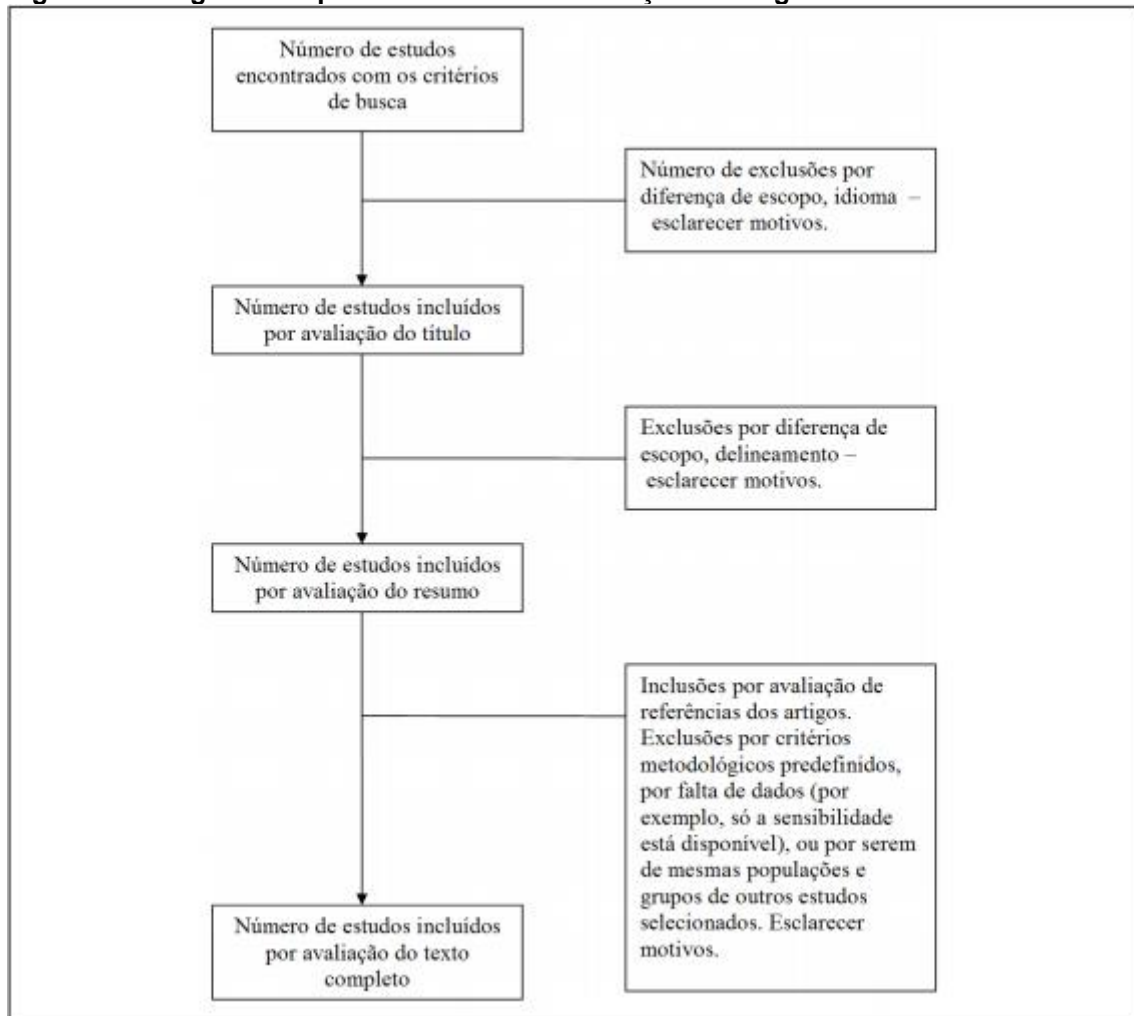
**Fonte:** (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, TAKAHASHI E BERTOLOZZI, 2011, p. 1265)

Seja qual for o caminho percorrido, para Aromataris e Pearson (2014) a revisão sistemática apresenta as seguintes características:

- Objetivos e questão de pesquisa;
- Critérios de inclusão e exclusão estipulados no protocolo;
- Pesquisa abrangente para identificar todos os estudos publicados e não publicados;
- Avaliação de qualidade dos estudos incluídos;
- Análise de dados das pesquisas incluídas;
- Apresentação e síntese dos resultados;
- Transparência na metodologia e métodos utilizados para a revisão.

Estas características são essenciais para se criar um protocolo, cada momento deve ser registrado, para que outros pesquisadores possam reproduzir a revisão e conferi-la (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO; TAKAHASHI; BERTOLOZZI, 2011). Durante a busca e seleção de artigos os critérios precisam ser bem estabelecidos e transparentes, como está muito bem expresso no fluxograma apresentado pelos autores Souza e Ribeiro (2009), traduzido do artigo de Moher *et al.* (2000):

**Figura 2. Fluxograma do processo de busca e seleção de artigos.**



**Fonte:** Souza e Ribeiro 2009, p.243

Todos os protocolos pré-estabelecidos, se forem obedecidos criteriosamente, chegará um resultado satisfatório da RS. Vamos então para os procedimentos metodológicos utilizados nesta dissertação.

#### **4. Procedimentos metodológicos**

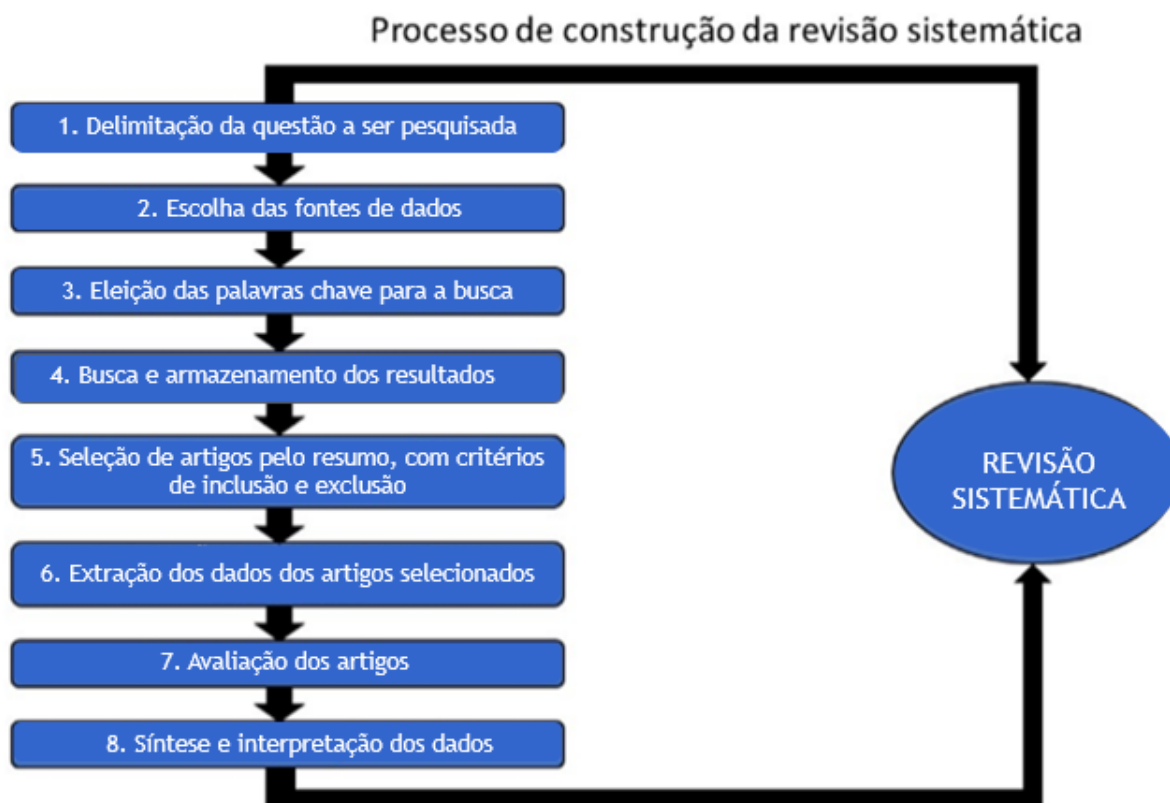
A pesquisa em questão se enquadra em uma revisão sistemática, metodologia de pesquisa que apresentou seu primeiro registro em 1955 (CORDEIRO *et al.*, 2007). Na literatura é muito comum o emprego de metanálise, termo criado por Gene Glass (1976), como sinônimo de revisão sistemática (COSTA e ZOLTOWSKI, 2014), portanto vamos fazer um esclarecimento quanto as diferenças entre ambas. Segundo Cook (1997) revisão sistemática é uma investigação científica com critérios metodológicos pré-estabelecidos, cujo “sujeitos” da pesquisa são estudos primários selecionados obedecendo a um rigor pré-definido. Os critérios passam por uma busca de estudos potencialmente relevantes, suas características são avaliadas e sintetizadas, finalizando com a interpretação dos resultados. Quando os estudos primários são analisados sem a combinação com dados estatísticos, tem-se a revisão sistemática qualitativa. Em contrapartida, quando se faz o uso de métodos estatísticos para comparar resultados, é chamado de revisão sistemática quantitativa ou metanálise.

No início, era na área da saúde que se fazia uso desta metodologia de pesquisa, atualmente diversos campos de conhecimento já a utilizam. Pesquisas de revisão apresentam grandes contribuições no meio científico, pois exibem um panorama atualizado da temática investigada e podem servir de referencial de partida para pesquisas futuras.

##### **4.1 Etapas da Revisão Sistemática**

Akobeng (2005), enumera alguns critérios que dão validade à revisão sistemática. Nesta mesma linha Costa e Zoltowski (2014) estabelecem oito etapas importantes para uma boa qualidade na revisão sistemática, e salienta que as etapas estão interrelacionadas umas com as outras.

**Figura 3.** Fluxograma das etapas utilizadas para a RS.



**Fonte:** Adaptado do texto de Costa e Zoltowski (2014, p. 56)

Vamos detalhar cada passo seguido no processo de construção desta dissertação. Como apresentado na figura 3, primeiro temos a delimitação da questão a ser pesquisada, etapa fundamental porque determina a viabilidade de sistematização da pesquisa. A partir da prática docente no ensino médio, podemos verificar uma lacuna no ensino de ligações químicas. Observamos que, dos materiais didáticos disponíveis ao professor, dificilmente encontramos um contexto histórico que aproxime ligações químicas da realidade dos alunos. Foi pensando nesta problemática, que um delineamento teórico e investigativo da presente dissertação se desenha, com o seguinte problema de pesquisa:

- Como a História da Ciência pode ser abordada, no Ensino Médio, dentro do tema 'ligações químicas'?

Para auxiliar na construção de resposta a esta questão principal, outros questionamentos são elencados:

- ✓ Estudos encontrados na literatura para ensinar ligações químicas no ensino médio, sob a perspectiva da história da ciência, apresentam

elementos satisfatórios para confrontar as concepções alternativas dos alunos?

- ✓ Existem na literatura propostas de materiais de apoio que utilizem a história da ciência, para ensinar ligação química no ensino médio?

Após ter elaborado as questões que vão delimitar a revisão, chega o momento de fazer a escolha das fontes de dados. De acordo com o que se busca, os locais podem estar veiculados a organizações governamentais, não governamentais, materiais produzidos por grupos de pesquisa disponíveis em websites, teses e dissertações, entre outros.

Para a base de dados desta revisão, foram selecionadas as revistas de acordo com a frequência que apareceram nas referências de trabalhos da área de ensino em ciências, educação em química e história da ciência. As revistas estão relacionadas no quadro 3:

**Quadro 3.** Revistas visitadas para a revisão.

<b>Revistas visitadas para a revisão</b>	
<b>Nacionais</b>	<b>Internacionais</b>
1- Ciência & Educação	1- Chemistry Education research and practice
2- Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	2- Educación Química
3- EENCI - Experiências em Ensino de Ciências	3- Educación Química en línea
4- História da Ciência e Ensino: construindo interfaces	4- Foundations of Chemistry
5- IENCI - Investigações em Ensino de Ciências	5- International Journal of Science Education
6- Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	6- Journal of Chemical Education
7- REDEQUIM - Revista Debates em Ensino de Química	7- Journal of Research and Science Teaching
8- Vidya	8- Research in Science Education
9- Química Nova	9- Science Education
10- Química Nova na Escola	10- Science & Education

**Fonte:** Elaboração própria.

Além das revistas nacionais e internacionais previamente selecionadas, site de busca como Google Acadêmico e bases de dados da CAPES e da Scielo também foram utilizados. A busca se deu primeiramente no catálogo de teses e dissertações do portal da Capes, com as palavras-chave entre aspas e separadas pelo operador AND. Na sequência a busca ocorreu no Google Scholar, com as palavras-chave em

inglês e depois em português também entre aspas, porém sem o operador separando as palavras, depois na base de dados Scielo. Importante salientar que a primeira palavra-chave utilizada foi “ligação química”, caso houvesse um número muito grande de trabalhos as demais palavras iam sendo adicionadas para restringir a busca.

A seguir escolhemos por pesquisar nas revistas nacionais antes das internacionais, porque Pazinato (2016) relata que a quantidade de pesquisas nacionais sobre o processo de ensino-aprendizagem do tema “ligações químicas”, é muito pequena quando comparada com a quantidade de trabalhos internacionais. Inicialmente decidimos por usar todas as palavras-chave separadas por operadores booleanos, mas percebemos que isso restringia demais a busca, então decidimos utilizar uma palavra ou a união de duas palavras por vez.

A escolha das palavras-chave é importante, pois sumarizam e captam a essência de um trabalho científico. Durante a escolha das palavras-chave devemos evitar que abranjam ou restrinjam demais a busca, logo, para esta pesquisa as palavras escolhidas foram selecionadas de acordo com o grau de importância na seguinte sequência: *ligação química, história da química, história da ciência e educação básica*.

Além do sequenciamento descrito nos parágrafos anteriores, para a realização da busca acrescentamos a delimitação do tempo que foi de janeiro de 2010 até junho de 2020, a revisão ocorreu nos meses de junho, julho e agosto de 2020. Foram armazenados os resultados, encontrados nos últimos dez anos, que continham no título um possível potencial de relação entre ligação química e história da ciência ou ligação química e ensino médio, ou uma combinação entre os três termos.

Chega o momento de selecionar os artigos pelo resumo com critérios de inclusão e exclusão, que podem ser bem diversificados. Vejam os critérios adotados aqui, para a inclusão dos trabalhos: tempo de publicação delimitado; voltado para ensino médio; propostas de sequência de ensino e aprendizagem; construção conceitual de ligação química, concepções alternativas e uso da história da ciência. Critérios de exclusão: ensino superior; formação de professores; livro didático e modelagem. Estes critérios de exclusão foram utilizados, pois não fazem parte dos objetivos da pesquisa em questão que é a busca por pesquisas que propõem, ou que apresentem potencial para a produção de material didático direcionado ao EM, com abordagem da História da Ciência em Ligações Químicas.

Agora um olhar mais minucioso se faz necessário, pois é hora de extrair dados dos artigos selecionados. O uso de uma planilha com dados mais gerais dos artigos, organiza melhor a visualização dos trabalhos facilitando a comparação entre eles, podendo ser feita com os seguintes itens: nome do estudo; objetivos; localização temporal da intervenção; contexto; descrição; principais achados. Durante o processo de extração dos dados é importante registrar pontos altos e baixos. Pontos altos: atendem o objetivo da revisão; delineamentos fortes e tratamento de dados adequado. Pontos baixos: limitações metodológicas, problemas com amostragem, análise da estatística inadequada.

A próxima etapa é a avaliação dos artigos, para isto é necessário constatar se os artigos selecionados podem ou não responder à questão de pesquisa. É importante ter clareza de que os estudos revisados abranjam o que será analisado, e que não restrinjam demais, a ponto de comprometer a interpretação dos dados. Para esta pesquisa, a análise dos artigos selecionados será qualitativa, objetivando uma síntese sobre estudos que apontem perspectivas da história da ciência dentro do tema 'ligações químicas'. Importante salientar que, mesmo as pesquisas que não atendem satisfatoriamente os critérios de avaliação, podem ser mantidas na avaliação e se tornarem relevantes para a análise dos dados.

Por fim a síntese e interpretação dos dados, que acontece ao reunir os dados com o objetivo de responder a problemática inicial da pesquisa. A pesquisa em questão, fará uma revisão sistemática com síntese narrativa, categorizando os estudos esquadrihados para que sejam feitas comparações das similaridades e diferenças. O estudo de revisão sistemática é importante, pois organiza, analisa criticamente e levanta evidências que auxiliam futuras produções científicas.

## 5 Resultados e discussão

Esta pesquisa é uma revisão sistemática qualitativa, com o intuito de elaborar um panorama das pesquisas desenvolvidas sobre o uso da História da Ciência no ensino de ligações químicas para a educação básica. O desejo por este levantamento, voltado especificamente para abordagem histórica da ligação química, surgiu da necessidade pessoal de materiais didáticos disponíveis aos professores da educação básica. Não só isto, mas veio também do pensamento de que a ligação química sob a óptica histórica pode auxiliar muito na formação integral do aluno. Formação com objetivos de alcançar o desenvolvimento de competências e habilidades descritas na BNCC (2018), fundamentada sobre 10 competências gerais da educação básica, sendo a primeira delas:

Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva (BRASIL, 2018, p.9).

O desenvolvimento da competência citada acima, passa pela indagação pessoal sobre o ensino de ligações químicas, que pode ser norteado pela construção histórica do conhecimento sobre o assunto, conduzindo a uma proximidade do tema com o aluno. Além do mais, depois de iniciar este estudo percebi que existe um vasto campo a ser explorado.

### 5.1 Busca e armazenamento dos resultados

Vamos então aos resultados obtidos da revisão feita em bases de dados, revistas nacionais e internacionais, no período compreendido entre janeiro de 2010 até junho de 2020. Como já mencionado, as palavras-chave utilizadas foram: *ligação química, história da química, história da ciência e educação básica*. A tabela 1 foi organizada com a ordem sequencial de visitas às bases de dados e revistas científicas, os respectivos nomes e a quantidade de pesquisas encontradas.

**Tabela 1.** Ordem das revistas e base de dados pesquisadas para a revisão sistemática.

Sequência	Revistas ou Base de dados	Quantidade de estudos encontrados
1	Catálogo de teses e dissertações CAPES	6
2	Google acadêmico	25
3	Scielo	3
4	Ciência & Educação	2
5	Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	0
6	História da Ciência e Ensino: construindo interfaces	4
7	EENCI - Experiências em Ensino de Ciências	3
8	IENCI - Investigações em Ensino de Ciências	0
9	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	1
10	REDEQUIM - Revista Debates em Ensino de Química	1
11	Vidya	0
12	Química Nova e Química Nova na Escola	1
13	Chemistry Education research and practice	7
14	Educación Química	3
15	Educación Química en línea	1
16	Foundations of Chemistry	5
17	International Journal of Science Education	8
18	Journal of Chemical Education	2
19	Journal of Research and Science Teaching	2
20	Research in Science Education	0
21	Science Education	1
22	Science & Education	1

**Fonte:** Elaboração própria.

Pudemos perceber que em 4 das revistas acima não foram encontrados trabalhos relativos à temática no período indicado. Foram encontrados um total de 76 pesquisas, dentre elas: teses, dissertações, Trabalhos de Conclusão de Cursos (TCCs) e artigos. Importante esclarecer que livros ou capítulos de livros não foram adicionados, pois não se enquadra nos objetivos do presente estudo.

Todos os trabalhos científicos pré-selecionados constam na tabela a seguir, contendo a ordem em que ocorreu a busca, o local da busca e os títulos das pesquisas. A ordem descrita na tabela 2 será usada no decorrer do texto, para identificação das pesquisas.

**Tabela 2.** Relação das pesquisas encontradas conforme o título.

Sequência	Revistas / base de dados	Título
1	Catálogo de teses e dissertações da CAPES	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. História da Ciência em aulas de Química: o que revela a prática de professores?</li> <li>b. A história da química como disciplina: um estudo dos cursos de licenciatura em química das universidades do estado da Bahia.</li> <li>c. Utilizando a abordagem histórica com experimentação para trabalhar conceitos de química no ensino médio.</li> <li>d. Estudo das representações sobre ligações químicas nos livros didáticos e suas contribuições para o processo de aprendizagem.</li> <li>e. Perfil da produção brasileira sobre história da química em periódicos e congressos: subsídios para a formação docente e sala de aula.</li> <li>f. Gilbert Lewis e a delicada tessitura da teoria do par compartilhado.</li> </ul>
2	Google Scholar	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Towards the development of a pedagogical history for a key chemical idea: chemical bonding.</li> <li>b. Whatever happened to Linnett double-quartet (LDQ) theory?</li> <li>c. What History Tells Us about the distinct Nature of Chemistry.</li> <li>d. The challenges of learning and teaching Chemical bonding at different school levels using electrostatic interactions instead of the octet rule as a teaching model.</li> <li>e. A aplicação do ensino de História da Ciência em uma aprendizagem significativa da disciplina Química.</li> <li>f. O conteúdo ligações químicas nos livros didáticos do ensino médio.</li> <li>g. O conceito de reação química no nível médio: história, transposição didática e ensino.</li> <li>h. Análise da abordagem contextual no conteúdo de Ligações Químicas em livros didáticos aceitos pelo PNL-2012.</li> <li>i. O tetraedro de Van' t Hoff: algumas considerações sobre o papel dos modelos na história da química e no ensino.</li> <li>j. Introdução à filosofia da química: uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área e sua importância para o ensino de química.</li> <li>k. QuimiLIG@: contribuições de um guia didático para o ensino de interações atômicas e moleculares na educação básica.</li> <li>l. A natureza da química em fontes históricas do Brasil colonial (1748-1855): contribuições da história da exploração mineral para o ensino de química.</li> <li>m. As concepções de professores de química sobre a utilização de elementos da história e filosofia da ciência no ensino.</li> </ul>

Sequência	Revistas / base de dados	Título
2	Google Scholar	<ul style="list-style-type: none"> <li>n. A História da Química em livros didáticos do Ensino Médio.</li> <li>o. História da química na educação básica: uma investigação nos livros didáticos.</li> <li>p. A história das grandes descobertas químicas como ferramenta de contextualização.</li> <li>q. História da ciência no ensino de ciências e as contribuições da revista química nova na escola no período de 1995 a 2015.</li> <li>r. Contextualização Histórico-Filosófica de Orbitais Atômicos e Moleculares.</li> <li>s. A abordagem da regra do octeto nos livros didáticos de química aprovados no PNLD 2018.</li> <li>t. Visões sobre natureza da ciência em artigos publicados em periódicos nacionais da área de ensino de ciências: um olhar para a educação em química.</li> <li>u. O conceito de valência em livros didáticos de química geral entre as décadas de 1890 e 1940.</li> <li>v. Entre tipos e radicais: a construção do conceito de valência.</li> <li>w. História da ciência em livros didáticos de química: características das pesquisas sobre a temática.</li> <li>x. Análise da transposição didática do conteúdo de ligação iônica no contexto do ensino médio do sertão do Pajeú.</li> <li>y. A educação ciência, tecnologia e sociedade enfatizada na temática ligações químicas: uma análise em livros de química do ensino médio.</li> </ul>
3	SciELO	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Gilbert Lewis e o centenário da teoria de ligação por par de elétrons.</li> <li>b. Ligações químicas em livros didáticos de química: uma análise dos elementos dos gêneros de discurso.</li> <li>c. Ligações entre metais: reflexões a partir dos modelos empregados em livros didáticos brasileiros de química.</li> </ul>
4	Ciência & Educação	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. La importancia de la historia de la química en la enseñanza escolar: análisis del pensamiento y elaboración de material didáctico de profesores en formación.</li> <li>b. A história da ciência nos livros didáticos de química do PNLEM 2007.</li> </ul>
5	História da Ciência e Ensino: construindo interfaces	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Representações químicas e a História da Ciência em sala de aula.</li> <li>b. O lugar da história da ciência nas políticas curriculares brasileiras para o ensino de química.</li> <li>c. História da Ciência: elaborando critérios para analisar a temática nos livros didáticos de química do ensino médio.</li> <li>d. História e filosofia da ciência em periódicos brasileiros: Um referencial para os professores de química.</li> </ul>

Sequência	Revistas / base de dados	Título
6	EENCI - Experiências em Ensino de Ciências	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Concepções alternativas dos estudantes sobre ligação química.</li> <li>b. Abordagem da história da química na educação básica.</li> <li>c. O ensino de ligação química por meio de situação-problema com estudantes do ensino médio.</li> </ul>
7	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Pesquisas em periódicos nacionais e internacionais sobre o ensino e aprendizagem de ligação química.</li> </ul>
8	REDEQUIM - Revista Debates em Ensino de Química	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Os recursos visuais utilizados pelos livros didáticos na abordagem das ligações químicas: uma avaliação quanto à sequência didática e ao grau de iconicidade.</li> </ul>
9	Química Nova e Química Nova na Escola	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Uso combinado de mapas conceituais e estratégias diversificadas de ensino: uma análise inicial das ligações químicas.</li> </ul>
10	Chemistry Education research and practice	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Characterizing and representing student's conceptual knowledge of chemical bonding.</li> <li>b. Representations of chemical bonding models in school textbooks – help or hindrance for understanding?</li> <li>c. Prospective pedagogy for teaching Chemical bonding for smart and sustainable learning.</li> <li>d. Coulombic interaction in Finnish middle school chemistry: A systemic perspective on students' conceptual structure of chemical bonding.</li> <li>e. Teaching of chemical bonding: a study of Swedish and South African students' conceptions of bonding.</li> <li>f. Understanding ionic bonding – a scan across the Croatian education system.</li> <li>g. Teaching and learning chemical bonding: Research-based evidence for misconceptions and conceptual difficulties experienced by students in upper secondary schools and the effect of an enriched text.</li> </ul>
11	Educación Química	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Filosofía de la química o historia y filosofía de la ciencia como guía para comprender el desarrollo de la química.</li> <li>b. Iónico, covalente y metálico.</li> <li>c. Caminhos preparatórios de Lewis e seu interesse pelas ligações químicas.</li> </ul>
12	Educación Química en línea	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Presentation of origin of the covalent bond in turkish general chemistry textbooks: A History and Philosophy of Science Perspective.</li> </ul>
13	Foundations of Chemistry	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Atoms and bonds in molecules and chemical explanations.</li> <li>b. A new chapter in the problem of the reduction of chemistry to physics: the Quantum Theory of Atoms in Molecules.</li> <li>c. Two-step emergence: the quantum theory of atoms in molecules as a bridge between quantum mechanics and molecular chemistry.</li> <li>d. Early theoretical chemistry: Plato's chemistry in Timaeus.</li> <li>e. Structure, shape, topology: entangled concepts in molecular Chemistry.</li> </ul>

Sequência	Revistas / base de dados	Título
14	International Journal of Science Education	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Representational classroom practices that contribute to students' conceptual and representational understanding of chemical bonding.</li> <li>b. Student conceptions of Ionic Bonding: patterns of thinking across three european contexts.</li> <li>c. Students' visualization of Metallic Bonding and the malleability of metals.</li> <li>d. Writing-to-Learn the Nature of Science in the context of the Lewis dot structure model.</li> <li>e. Understanding metallic bonding: Structure, process and interaction by rasch analysis.</li> <li>f. Upper secondary teachers' knowledge for teaching chemical bonding models.</li> <li>g. Coteaching with senior students – a way to refine teachers' PCK for teaching chemical bonding in upper secondary school.</li> <li>h. The drama of chemistry – supporting student explorations of electronegativity and Chemical bonding through creative drama in Upper secondary school.</li> </ul>
15	Journal of Chemical Education	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. We need to update the teaching of Valence Theory.</li> <li>b. Development of the bonding representations inventory to identify student misconceptions about covalent and ionic bonding representations.</li> </ul>
16	Journal of Research and Science Teaching	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Contributions of the model of modelling diagram to the learning of ionic bonding: Analysis of a case study.</li> <li>b. Factors contributing to students' misconceptions in learning covalent bonds.</li> </ul>
17	Science Education	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Teachers' reasoning: Classroom visual representational practices in the contexto of introductory chemical bonding.</li> </ul>
18	Science & Education	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. From common sense concepts to scientifically conditioned concepts of chemical bonding: an historical and textbook approach designed to address learning and teaching issues at the Secondary School level.</li> </ul>

Fonte: Elaboração própria.

## 5.2 Seleção de artigos

Todas as pesquisas relacionadas, foram separadas por assuntos de maior expressividade encontrados em seus respectivos resumos. A identificação de cada estudo usada na tabela 3, foi o número referente a sequência e as letras especificadas no título que se encontra na 2. Obtivemos o seguinte resultado:

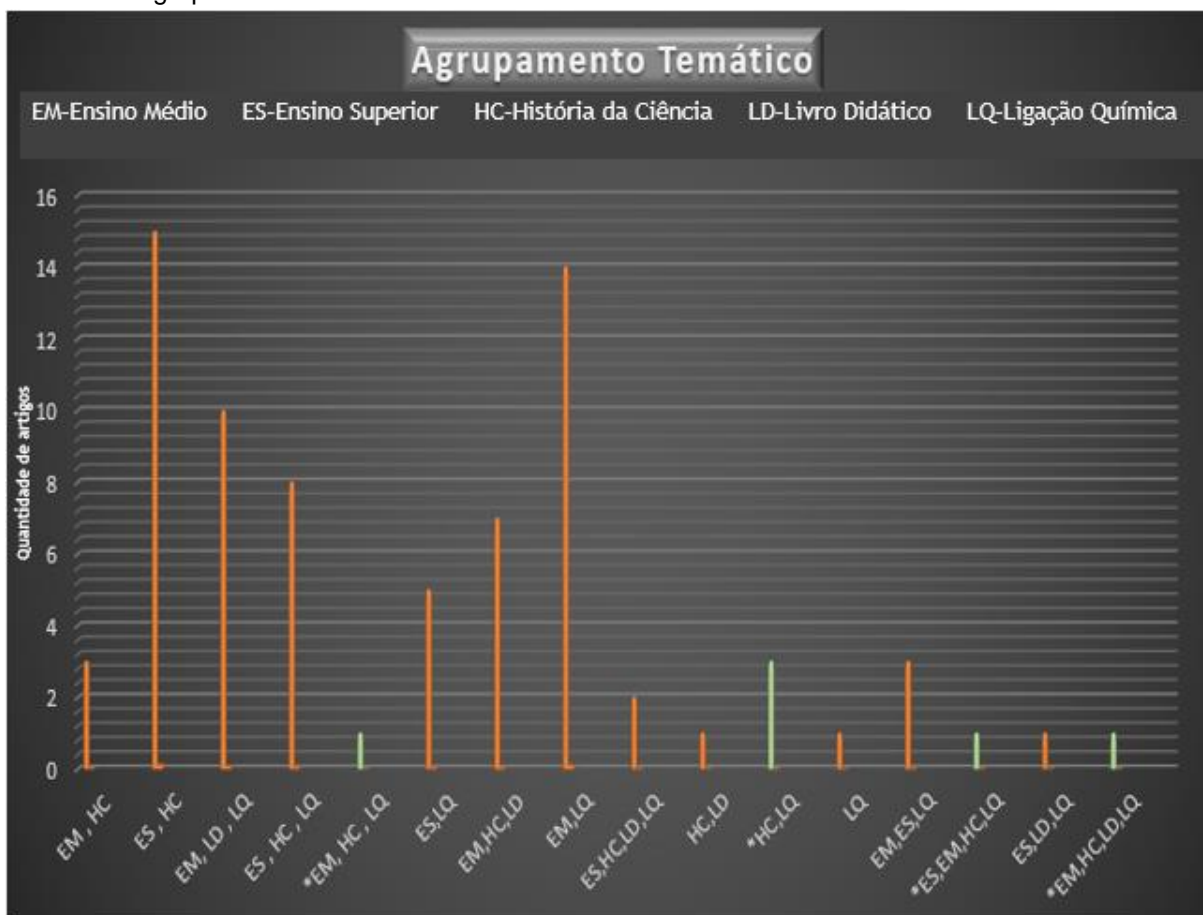
**Tabela 3.** Pesquisas separadas por temas de maior expressividade.

Relação de estudos	Temática				
	Ensino Superior	Ensino Médio	História da Ciência	Livro Didático	Ligações Químicas
1.a; 1.c; 2.i		X	X		
1.b; 1.e; 2.c; 2.j; 2.l; 2.m; 2.p; 2.q; 2.t; 4.a; 5.a; 5.b; 5.d; 11.a; 13.e	X		X		
1.d; 2.f; 2.h; 2.s; 2.w; 2.y; 3.b; 3.c; 8.a; 10.b		X		X	X
1.f; 2.b; 2.r; 2.x; 13.a; 13.b; 13.c; 15.a	X		X		X
2.a		X	X		X
2.d; 6.a; 10.c; 11.b; 14.b	X				X
2.e; 2.g; 2.n; 2.o; 4.b; 5.c; 6.b		X	X	X	
2.k; 6.c; 9.a; 10.a; 10.d; 10.e; 14.a; 14.c; 14.e; 14.g; 14.h; 15.b; 18.a; 17.a		X			X
2.u; 12.a	X		X	X	X
2.v			X	X	
3.a; 11.c; 13.d			X		X
7.a					X
10.f; 10.g; 14.f	X	X			X
14.d	X	X	X		X
16.b	X			X	X
18.a		X	X	X	X

**Fonte:** Elaboração própria.

A partir desta relação, podemos verificar os temas de maior expressividade presentes nas pesquisas. A escolha pelos temas tem relação com os critérios de inclusão e exclusão e inclusão desta RS. Cada pesquisa se enquadrou em dois ou mais temas, com apenas um estudo definido com um único tema de Ligações Químicas.

Os cinco temas podem ser encontrados no decorrer do texto na forma abreviada: Ensino Superior (ES), Ensino Médio (EM), História da Ciência (HC), Livros Didáticos (LD) e Ligações Químicas (LQ). Os dados da tabela 3 foram expressos no gráfico 1:

**Gráfico 1.** Agrupamento temático.

\*representam os artigos analisados

**Fonte:** Elaboração própria.

Após o agrupamento temático, outra seleção foi realizada seguindo os seguintes critérios:

- i. Inclusão: estudos que abordaram EM, HC e/ou LQ, podendo ser os três temas juntos, ou mesclando dois deles.
- ii. Exclusão: estudos que apareceram ES e/ou LD. Porém, um estudo selecionado faz análise do livro didático, mas está relacionado com os outros três temas da inclusão, por isso ele foi analisado.

Resultando na tabela 4 e gráfico 2:

**Tabela 4.** Pré-seleção por agrupamento temático.

<b>Pesquisas (códigos)</b>	1.a; 1.c; 2.i	2.a	2.k; 6.c; 9.a; 10.a; 10.d; 10.e; 14.a; 14.c; 14.e; 14.g; 14.h; 15.b; 16.a; 17.a	3.a; 11.c; 13.d	14.d	18.a
<b>Agrupamentos Temáticos</b>	HC/EM	EM/HC/LQ	EM/LQ	HC/LQ	ES/EM/ HC/LQ	EM/HC/ LD/LQ
<b>Quantidade pré-selecionada</b>	3	1	14	3	1	1
<b>Total de pesquisas</b>	23					

Fonte: Elaboração própria

**Gráfico 2.** Artigos selecionados pelo agrupamento temático.

\*representam os artigos analisados

Fonte: Elaboração própria

Foram excluídos 53 artigos dos 76 iniciais, restando 23 para verificação novamente dos resumos, e, assim, excluir de fato as pesquisas que não apresentaram elementos suficientes para responder à questão de pesquisa. Com a leitura minuciosa dos resumos, foi identificado 17 pesquisas que abordaram os temas EM, HC e/ou LQ relacionados com: prática docente, concepção dos alunos, modelagem, ferramentas computacionais, entre outros. Restando 6 artigos para a extração, avaliação, síntese e interpretação dos dados.

Os seis estudos de maior relevância para esta pesquisa foram os que englobaram EM/HC/LQ (3 pesquisas) e HC/LQ (3 pesquisas), que estão em destaque

nos gráficos 1 e 2. Foram excluídos todos os relacionados ao ES e LD, visto que o foco deste trabalho é a busca por pesquisas que propõem, ou que apresentem potencial para a produção de material didático direcionado ao EM, com abordagem da História da Ciência em Ligações Químicas.

Chegamos às pesquisas com expressividade para contribuir com as nossas discussões, elas estão relacionadas no quadro 4 que contém título, autores e data de publicação.

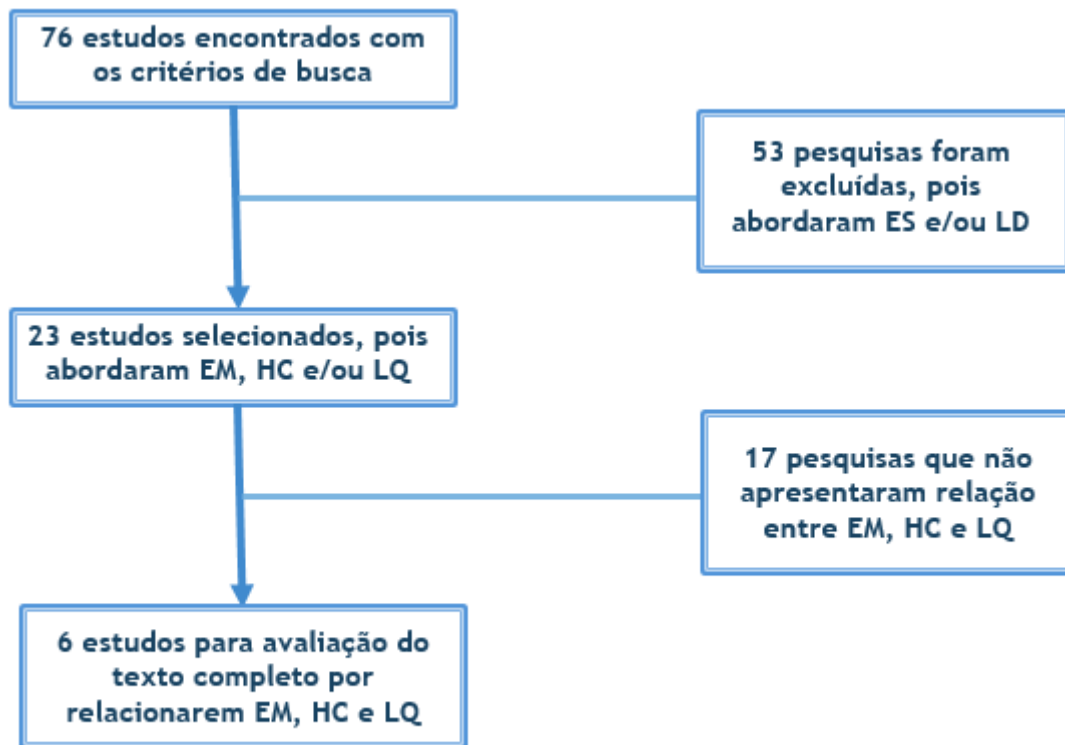
**Quadro 4.** Artigos selecionados para a síntese narrativa.

Pesquisas (código)	Agrupamento	Título	Autores	Ano de publicação	Revistas
2.a	EM/HC/LQ	"Towards the development of a pedagogical history for a key chemical idea: chemical bonding." (Tese)	Michael Croft	2010	ResearchOnline@Avondale
14.d	ES/EM/HC/LQ	"Writing-to-Learn the Nature of Science in the context of the Lewis dot structure model."	Ginger V. Shultz e Anne Ruggles Gere	2015	International Journal of Science Education
18.a	EM/HC/LD/LQ	"From common sense concepts to scientifically conditioned concepts of chemical bonding: an historical and textbook approach designed to address learning and teaching issues at the Secondary School level."	Michael Croft e Kevin de Berg	2014	Science & Education
3.a	HC/LQ	"Gilbert Lewis e o centenário da teoria de ligação por par de elétrons."	Carlos A. L. Filgueiras	2016	Química Nova
11.c		"Caminhos preparatórios de Lewis e seu interesse pelas ligações químicas."	Leonardo Lessa Pacheco e Ivoni Freitas-Reis	2020	Educación Química
13.d		"Early theoretical chemistry: Plato's chemistry in Timaeus."	Francesco Di Giacomo	2020	Foundations of Chemistry

**Fonte:** Elaboração própria

As etapas descritas em 5.1 e 5.2 foram sintetizadas na figura 4, inspirado no fluxograma do processo de busca e seleção de artigos (figura 2).

**Figura 4.** Resultado da busca e seleção de artigos.



Fonte: Elaboração própria

### 5.3 Extraíndo os dados

Para a avaliação dos artigos serão apresentados quadros que contêm nome do artigo, objetivos, local de intervenção, contexto, descrição e principais achados. Com estes dados poderemos constatar se os estudos atendem ao objetivo desta revisão, se apresentam delineamentos fortes, se há limitações metodológicas e problemas de amostragem.

**Quadro 5.** Características da tese 2.a.

<b>Nome do artigo</b>	Towards the Development of a Pedagogical History for a Key Chemical Idea: Chemical Bonding
<b>Objetivos</b>	Construir uma história pedagógica para ligação química; Pesquisar as concepções alternativas de alunos do ensino médio; Desenvolver e aplicar um teste diagnóstico para determinar as concepções alternativas dos alunos sobre ligações químicas; Verificar se aparecem novas concepções não relatadas na literatura.
<b>Local da intervenção</b>	Austrália
<b>Contexto</b>	O teste diagnóstico foi realizado como uma atividade voluntária em duas escolas secundárias de Melbourne, 172 alunos que haviam estudado ligações químicas. Depois da análise dos testes, 7 alunos foram convidados a participar de uma entrevista
<b>Descrição</b>	Traz a história e as descobertas de Lewis. Descreve o que é uma história pedagógica, para que serve, quais elementos são necessários deve conter. As histórias pedagógicas levam em consideração os níveis de linguagem dos alunos. A história pedagógica captura a imaginação, introduzindo conflito real e emoção. Descreve os cientistas como seres humanos e retrata a ciência de forma realista, os alunos seguem as mesmas trajetórias dos cientistas (embora mais rápido no tempo). Mostra a ciência com todas as especulações, teorias, discussões e controvérsias. Conforme os alunos debatem teorias controversas, aprendem ativamente. A história pedagógica inclui espaço para perguntas e respostas dos alunos, ensina através da resolução de problemas desenvolvendo o pensamento crítico.
<b>Principais achados</b>	O teste diagnóstico pode ser aplicado em qualquer escola do ensino médio; As representações submicroscópicas não são intuitivas para os alunos; Os professores transitam pelos níveis macro, submicro e o representacional com muita rapidez; Alunos não veem diferença entre um elemento neutro e um íon; A regra do octeto é uma barreira para que o aluno desenvolva uma compreensão mais profunda da ligação; Os alunos acham que as leis da física estão dissociadas da química, como por exemplo a Lei de Coulomb.

**Fonte:** Elaboração própria

A proposta de uma atividade como a história pedagógica, acrescenta elementos importantes para a aprendizagem significativa dos alunos. A tese em questão, descreve os elementos necessários para uma boa história pedagógica, porém não apresenta nenhum modelo e não fez aplicação em sala de aula. A intervenção feita foi um teste diagnóstico para identificar concepções alternativas dos alunos. Este teste se encontra na tese, com sugestão do autor de que pode ser aplicado em qualquer escola de ensino médio. Fatos da história da ligação química e as concepções alternativas estão detalhadas no estudo, como são elementos essenciais para uma história pedagógica, podem ser utilizados por professores para a construção de uma. Entretanto, talvez os professores de química da educação básica, necessitem de uma formação continuada que lhes deem alicerce para realizar

esta atividade, de escrever uma história envolvente com elementos históricos do desenvolvimento de um conhecimento científico.

**Quadro 6.** Características do artigo 14.d

<b>Nome do artigo</b>	Writing-to-Learn the Nature of Science in the Context of the Lewis Dot Structure Model.
<b>Objetivo</b>	Promover mudanças nas concepções dos alunos sobre natureza da ciência, através do currículo explícito e reflexivo, com leitura dirigida e escrita reflexiva sobre a natureza da ciência do modelo da estrutura de Lewis.
<b>Local da intervenção</b>	Alunos de primeiro ano do curso de química (não cita o local, porém o artigo é da Universidade de Michigan)
<b>Contexto</b>	A atividade foi realizada com 58 alunos voluntários, fora do horário regular de aula, como uma atividade extra. A tarefa dos alunos foi ler a primeira seção do artigo de Lewis (1916) e escrever um resumo de como ele propôs a representação dos elétrons compartilhados. O texto está disponível no artigo. Os alunos tinham que comparar o modelo proposto por Lewis com a teoria anterior e com a estrutura molecular aprendida na sala de aula. Foi feita uma revisão por pares, trocando experiências entre os colegas, e em seguida enviaram uma versão final. Foi disponibilizada no artigo a rubrica da avaliação utilizada pelos pares. A versão final dos textos foi avaliada por especialistas seguindo a tabela de avaliação disponível no artigo. Foram feitas questões a respeito da natureza da ciência, antes e depois da atividade para verificar as concepções dos alunos e se houveram mudanças significativas. A atividade pode ser adaptada para níveis inferiores de ensino.
<b>Descrição</b>	Foi feita uma investigação da abordagem curricular implícita e explícita da Natureza da Ciência. Aqui a abordagem é guiada por princípios da alfabetização científica, que permite a compreensão dos conceitos chave da química. Os alunos compreendem a natureza da ciência indiretamente, quando participam de atividades com investigação guiada. O currículo explícito e reflexivo pode usar a história ou filosofia da ciência como discussão ou escrita, relatórios sugerem que este tipo de currículo é mais eficaz na mudança de concepções dos alunos. Saber desenhar a estrutura de pontos de Lewis é a base da linguagem simbólica, e desenhar e interpretar as estruturas são fundamentais para aprendizagem em química. Muitos alunos utilizam regras o que os limita na interpretação, propósito e função, além de não conectar a estrutura às propriedades físicas. É fundamental repensar e desenvolver habilidades que permita ao aluno aprender de forma significativa e ser capaz de fazer relação entre estrutura e função. Pedir para os alunos que expliquem, reflitam e escrevam o que estudaram nas aulas, promove uma aprendizagem significativa.
<b>Principais achados</b>	Leitura e escrita juntos, podem ser usados como estratégia para facilitar a aprendizagem; A revisão entre pares possibilita a aprendizagem do aluno através da escrita do colega; A revisão final feita pelos professores permite que verifiquem os ganhos na aprendizagem dos alunos; Os artigos mais antigos podem ser utilizados com maior eficácia por serem bastante descritivos, com capacidade de demonstrar a natureza evolutiva da teoria científica.

**Fonte:** Elaboração própria

O artigo 14.d deixa explícito os materiais utilizados para a intervenção, bem como o tratamento dos dados estatísticos das avaliações dos resumos. Possui tratamento dos dados de forma clara, com resultados que poderiam ter conduzido a uma melhor conclusão. Se o objetivo era promover mudanças nas concepções dos

alunos, isto deveria ter sido destacado na discussão dos resultados de forma mais qualitativa, e chegado a um desfecho referente às concepções.

**Quadro 7.** Características do artigo 18.a.

<b>Nome do artigo</b>	From Common Sense Concepts to Scientifically Conditioned Concepts of Chemical Bonding: An Historical and Textbook Approach Designed to Address Learning and Teaching Issues at the Secondary School Level.
<b>Objetivo</b>	Propor ideias que ajudem a reduzir a aprendizagem mecânica da ligação química, através da história de conceitos chave como: octeto, carga e par de elétrons.
<b>Local da intervenção</b>	Não teve intervenção (foram utilizados dados da intervenção realizada na tese 2.a, pois este artigo é do mesmo autor)
<b>Contexto</b>	Faz uma relação entre seis concepções alternativas e quatro questões sobre a natureza da ligação química. Os detalhes descritos não são para ocupar espaço em currículos acadêmicos, mas para trazer clareza conceitual aos professores. Acredita-se que se o professor tem esse tipo de conhecimento, cria-se oportunidades para reduzir os impedimentos de aprendizagem pedagógica e o ensino se torna agradável. Para entender os conceitos chave no ensino médio, foi analisado um livro didático e apresentado sugestões para melhorar o envolvimento dos alunos com o conteúdo ligação química.
<b>Descrição</b>	O artigo traz a história da carga elétrica, passando pela ideia de campo elétrico e magnético. Vai falar um pouco da história dos conceitos do octeto, par de elétrons, a ligação química e o currículo do ensino médio. As pesquisas em relação às práticas de ensino e aprendizagem dos últimos 30 anos está voltada para construção ativa do conhecimento pelo aluno, em que novos conceitos são construídos de maneira significativa. O autor faz análise de livros didáticos que abordam carga elétrica e fazem uma relação com os 3 níveis de representação de Johnstone. Os livros didáticos fazem as representações de ligações químicas no nível submicro, mas esperam que o aluno transite pelos 3 níveis, macro, submicro e simbólico.
<b>Principais achados</b>	O conceito carga é imprescindível para a compreensão da ideia de ligação química; Os livros didáticos de química, ao tratar o tema ligação química, não abordam conceito de carga elétrica; As concepções alternativas, em relação a ligação química está relacionada com o conceito de carga; Algumas concepções alternativas são impedimentos pedagógicos de aprendizagem; Considerações históricas e filosóficas são recursos que reduzem a criação de entraves de aprendizagem pedagógica.

**Fonte:** Elaboração própria

Este estudo 18.a busca relações imprescindíveis para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem. Ao utilizar concepções alternativas como pano de fundo para responder questões aparentemente simples, mas que estão no âmago do entendimento de ligação química, revela uma preocupação com o aprendizado significativo do aluno. Sinaliza uma preocupação importante a respeito da relação entre ligação química e carga elétrica, visto que a natureza da ligação é elétrica.

Estes três estudos (2.a, 14.d, 18.a), apresentam peculiaridades que correspondem aos objetivos desta dissertação, já os outros três (3.a, 11.c, 13.d) não estão de acordo com o que procuramos, mas contém atributos pertinentes para a preparação de um futuro material pedagógico. Como são artigos quase que exclusivamente descritivos, trazem basicamente elementos históricos importantes,

portanto os dados extraídos serão expostos em quadros com: nome do artigo, objetivo, descrição e conclusão.

**Quadro 8.** Características do artigo 3.a.

<b>Nome do artigo</b>	Gilbert Lewis e o centenário da teoria de ligação por par de elétrons.
<b>Objetivo</b>	Mostrar a história pessoal e as descobertas de Lewis
<b>Descrição</b>	Conta a história a partir de Lavoisier como marco do início da Química Moderna, passando por Dalton. Dá um salto de um século chegando em Lewis, traz uma biografia com detalhes sobre sua vida acadêmica e sua trajetória como cientista renomado e reconhecido por premiações honoráveis. Sobre a saga de nunca ter ganhado o prêmio Nobel. Fala da teoria de ligação eletrônica. As ideias de Lewis foram fundamentais para o desenvolvimento da química, Pauling o reconhece, ele foi marcante para a ciência.
<b>Conclusão</b>	As ideias e conceitos foram apresentados sucintamente, para mostrar o papel primordial de Lewis no desenvolvimento da química do século XX.

Fonte: Elaboração própria

**Quadro 9.** Características do artigo 11.c.

<b>Nome do artigo</b>	Caminhos preparatórios de Lewis e seu interesse pelas ligações químicas.
<b>Objetivo</b>	Nortear o leitor no contexto da elaboração da teoria do par compartilhado de Lewis.
<b>Descrição</b>	Aborda o percurso acadêmico de Lewis, os seus estudos e teorias. Vai trazer a questão da ciência que é um saber coletivo e em constante construção. Vai falar sobre estudos anteriores aos de Lewis. Nesse viés a ciência não é vista como um saber isolado, de gênios, mas construído por colaboradores de forma coletiva.
<b>Conclusão</b>	A teoria de Lewis permite que o professor de química trabalhe em sala de aula esse conhecimento, tanto na educação básica quanto na superior, expondo como Lewis concebeu a teoria do par compartilhado, ou atrelando-a aos saberes produzidos por seus contemporâneos. Além do mais, a compreensão histórica do conhecimento, possibilita ao professor evidenciar as fórmulas eletrônicas de Lewis que não são apenas pontos para equilibrar um átomo pela quantidade de elétrons, mas parte do modelo chamado átomo cúbico, quase ou nunca trabalhado em sala de aula.

Fonte: Elaboração própria

**Quadro 10.** Características do artigo 13.d.

<b>Nome do artigo</b>	Early theoretical chemistry: Plato's chemistry in Timaeus.
<b>Objetivo</b>	Fazer uma análise do livro 'Timeu' de Platão, sobre o que seria corpos elementares e o que seriam as primeiras referências de reação química.
<b>Descrição</b>	Platão associa 4 de seus 5 sólidos aos quatro elementos de Empédocles Fogo – tetraedro, por causa da sua pequenez, menor número de lados, cantos agudos e maior mobilidade Ar – octaedro, por ser mais leve que a água Água – icosaedro Terra – cubo, adequado a uma superfície estável Platão colocou que os elementos de Empédocles são constituídos por corpos mais simples, representando assim, as formas geométricas mais complexas, formadas por triângulos que ele toma como elementares. É o primeiro livro da história em que se encontra conteúdos de física e química com base em matemática. A matemática representada era a mais avançada da época, dos números irracionais e poliedros regulares. Em Timeu encontram-se teorias com características comuns à ciência moderna, encontra-se reações químicas, de forma escrita o que chamam de "química retórica". São as primeiras reações químicas e o nascimento da estequiometria de reação.

<b>Conclusão</b>	Para Platão, os triângulos não são usados apenas para descrever o universo, não são apenas ideias, eles realmente compõem a matéria.
------------------	--

**Fonte:** Elaboração própria

Estes três estudos trazem elementos históricos substanciais, o professor pode fazer a leitura e adequá-los à faixa etária e ao nível de compreensão de seus alunos. Traz uma linha histórica bem estruturada e com informações não encontradas em livros didáticos, muito utilizado por professores. Embora o artigo 13.d esteja em inglês, aborda questões filosóficas rudimentares das reações químicas e atomismo, no livro 'Timeu' encontra-se a primeira referência da física e química fundamentadas na matemática.

#### 5.4 Avaliação dos estudos

Para avaliação dos artigos utilizaremos critérios que verificarão se respondem à questão de pesquisa. Serão os seguintes: proposta de material pedagógico, concepções alternativas dos alunos, proposta de intervenção pedagógica, apresenta elementos históricos da ligação química, fácil leitura. Vejam a tabela 5:

**Tabela 5.** Critérios de avaliação dos estudos analisados.

Pesquisas (códigos)	Proposta de material pedagógico		Concepções alternativas dos alunos		Proposta de intervenção pedagógica		Apresenta elementos históricos		Fácil leitura	
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
<b>2.a</b>	X		X		X		X			X
<b>14.d</b>	X		X		X		X			X
<b>18.a</b>		X	X			X	X			X
<b>3.a</b>		X		X		X	X		X	
<b>11.c</b>		X		X		X	X		X	
<b>13.d</b>		X		X		X	X			X

**Fonte:** Elaboração própria

Antes de prosseguir na avaliação, importante explicar que no critério "leitura fácil" o 'sim' indica que o texto está em português e o 'não' em inglês, logo a dificuldade apresentada é a língua em que se encontra o texto.

Podemos identificar dois estudos (2.a e 14.d) que apresentaram 'sim' para quatro critérios, são pesquisas com alto grau de relevância para os objetivos pretendidos nesta dissertação. Embora o 18.a não apresente proposta de material pedagógico e nem de intervenção, durante a leitura ele vai fazer relações e reflexões de questionamentos presentes no processo de ensino-aprendizagem da ligação

química. Este artigo apresentou-se favorável, pois com sua leitura o professor vai repensar e rever a sua prática docente, buscando a melhoria do ensino.

Os artigos 3.a, 11.c e 13.d não possuem critérios que respondam aos objetivos apresentados nesta revisão sistemática, como já dito anteriormente. No entanto, os dois primeiros são de fácil leitura, porque estão em português, além de textos recheados de informações e curiosidades que despertam o interesse pela leitura. Dependendo do nível de compreensão dos alunos, os textos ou trechos deles podem ser escolhidos para atividades de leitura e interpretação, como proposto pelo artigo 14.d. O artigo 13.d, embora esteja em inglês, apresenta uma análise fantástica sobre as ideias de Platão em relação à estrutura da matéria e as reações química, podendo ser utilizadas em uma sequência didática.

## **5.5 Síntese e Interpretação dos dados**

Todos os estudos avaliados podem ser utilizados como referência de materiais de apoio para o ensino de ligações químicas na educação básica. Dois deles (2.a e 14.d) são mais completos no quesito de utilização imediata, trazem as propostas de intervenção bem estruturadas. Embora o 2.a não traga um exemplo de história pedagógica, nele encontramos as sugestões e as características de uma. O 18.a traz uma crítica quanto ao tema da ligação química não estar atrelado ao conceito de carga, visto que a natureza da ligação é elétrica. Ao invés disso, no geral existe uma relação acrítica com a regra do octeto, conduzindo os alunos a uma aprendizagem mecânica que perpetua as concepções alternativas.

Os artigos 3.a, 11.c e 13.d apresentam semelhanças quanto às características históricas, que podem ser utilizadas por professores em sala de aula. Os dois primeiros trazem o mesmo contexto histórico e são complementares. Por outro lado, o 13.d tem algumas diferenças, traz uma reflexão filosófica referindo-se às contribuições de Platão e faz uma análise de 'Timeu', um livro de Platão. Apresenta uma história desconhecida para os químicos, visto que o atomismo contado pelos livros de química remete-se a Demócrito e Leucipo.

A pesquisa 18.a é uma extensão da 2.a, nela encontram-se resultados obtidos na tese 2.a. As observações referentes às concepções alternativas dos alunos abrem janelas para intervenções que podem variar de acordo com o contexto de uma comunidade escolar.

## 6 Considerações Finais

É recorrente os questionamentos de um professor em relação a sua prática, eles são os estímulos para a busca por melhoria do ensino. A indagação que alavancou a produção desta pesquisa, foi a respeito do uso da História da Ciência no ensino de ligação química na educação básica.

Já se passaram mais de 20 anos, desde que surgiram documentos nacionais orientadores da educação fazendo referência a História da Ciência no ensino de química, entretanto pouco ou quase nada tem estado presente no chão da escola. Na busca por unir a química e a construção histórica de conceitos chave da ciência, é que surgiu esta revisão sistemática, procurando por respostas à pergunta inicial.

A revisão feita nesta dissertação poderia ser para qualquer tema trabalhado em química do ensino médio, mas a escolha pela ligação química se deu por considerá-lo um dos conceitos estruturantes do conhecimento químico, além da falta de aspectos históricos em livros didáticos e materiais de apoio pedagógico do professor, ao abordarem tal tema.

Existe uma necessidade de aproximar o ensino de ciências à realidade do aluno, para que seja desenvolvido um senso crítico-social, de pertencimento a uma sociedade que usufrui da ciência direta ou indiretamente. O ensino precisa promover uma aprendizagem significativa nos alunos, acarretando a construção ativa do conhecimento com condições de transformar o mundo ao seu redor. Devemos ressaltar que o ensino tem muito das características do professor e do que ele recebeu durante sua formação, fato é que existe uma tendência em reproduzir o que recebemos nos bancos da escola. Por isso a formação de um professor reflexivo, que compreenda a sua história, a da ciência e a de seus alunos, propicia uma renovação no “fazer” educação.

Na década de 1980, os programas educacionais CTS abriram as portas para a História da Ciência se perpetuar no ensino de ciências. Na década seguinte, a História da Ciência passou a ser citada como um fator de contribuição para a prática do ensino de ciências, desde então um esforço para estreitar esta relação tem sido feito. Porém não pode ser apenas um esforço, deve ser realidade encontrada no cotidiano escolar, pois se o objetivo é atingir a alfabetização científica, a História da Ciência não pode ser apenas uma pequena caixa de texto no canto da página de um livro didático.

Fazer com que a HC ocupe o seu devido lugar na sala de aula, depende quase que exclusivamente do professor, que precisa compreender a sua função formadora e não informadora. Se voltarmos ao passado, veremos que o ensino por transmissão da década de 1950 se conservou, e ainda hoje encontramos vestígios dele, principalmente nas áreas de ciências exatas e da natureza.

Ainda encontramos um ensino de química que utiliza predominantemente conceitos, leis, fórmulas desconexas da realidade e repetição de exercícios. A História da Ciência apresenta elementos contextualizadores, que podem servir de enxada para ir retirando as raízes do ensino passivo que cresceram e se perpetuaram ao longo destes anos.

Embora possam ser separadas enquanto campo de atuação científica, a história e a filosofia no ensino de ciências se encontram intrinsecamente ligadas. Grosso modo, enquanto a história da ciência se preocupa com os momentos históricos, sociais, econômicos e políticos, a filosofia retrata a natureza da ciência, questões intrínsecas da elaboração das teorias científicas. No processo de construção do conhecimento científico, a história e as reflexões sobre o objeto de estudo se encontram interligados.

Historicamente a química seguia um caminho independente da física até o início do século XX, quando a teoria da mecânica quântica atraiu todos os holofotes da ciência. A química passou a se apropriar da física para explicar conceitos como ligação química e estrutura molecular, mas não obteve sucesso, visto que estes conceitos são mais qualitativos que quantitativos. E são os aspectos qualitativos da ligação química que são importantes para o ensino médio.

O caminho percorrido pela construção do conceito de ligação química, entre a concepção clássica de Lewis e a concepção da mecânica quântica, não se encontra no processo de ensino-aprendizagem, é omitido os aspectos históricos importantes para a compreensão da natureza da ligação.

Acontece que o ensino de ligação química para o aluno, é tido como difícil e conseqüentemente desinteressante, para tornar o ensino mais expressivo e útil na vida dos alunos, estratégias para melhorar a aprendizagem são elaboradas por especialistas da educação. É aqui que a HC entra com um possível potencial de aproximar a química e os alunos, através do seu enredo histórico, social e humano. O ensino de ligação química não pode se restringir a compartilhamento de elétrons entre átomos e à regra do octeto, ainda sendo utilizada indiscriminadamente nas salas de

aula. Este ensino mecânico e acrítico, promove e reafirma concepções alternativas dos alunos e, porque não dizer dos professores também. As concepções alternativas podem se colocar como empecilhos para o aprendizado real e efetivo dos conceitos científicos, pois é difícil desfazer pré-conceitos estabelecidos.

Foi realizada uma RS, para se chegar aos estudos da literatura que apresentaram propostas de intervenção pedagógica no ensino de ligação química, e utilizaram como pano de fundo a história da ciência. As revisões sistemáticas apresentam características criteriosas de pesquisa da literatura, com a finalidade de apresentar um panorama do que já foi estudado sobre determinada temática.

No geral de todos os estudos pré-selecionados, foi possível identificar um número maior que relacionou história da ciência e ligação química voltado ao ensino superior. Além de muitas pesquisas que fizeram análise do uso da história da ciência em livros didáticos, e, outros da ligação química em livros didáticos.

Ao realizar todas as etapas pré-determinadas, foi possível chegar a um total de seis artigos relevantes para a análise minuciosa, que foram selecionados após uma revisão em bases de dados, revistas internacionais e nacionais. Dois deles são nacionais, e não apresentaram intervenção pedagógica e nem proposta de material de apoio aos professores, apresentaram estudos descritivos do desenvolvimento histórico da ligação química que podem ser utilizados futuramente para produção de materiais pedagógicos.

Foram dois artigos internacionais, que apresentaram propostas de intervenção pedagógica de forma explícita, com clareza e disponibilizou ou descreveu o material utilizado. Teve um outro artigo, que não apresentou proposta de intervenção, porém faz um estudo detalhado em relação a seis concepções alternativas dos alunos, sobre ligações químicas. A análise feita neste artigo é bem interessante, visto que faz uma crítica a respeito da abordagem da ligação em relação ao uso da regra do octeto, e à falta de unir o conceito de carga ao ensino de ligação química. E o outro estudo descritivo, mas diferente dos dois nacionais, traz elementos históricos da antiguidade, com aspectos filosóficos que diz respeito à natureza da ciência.

Concluimos que a História da Ciência pode propiciar uma aprendizagem crítica e significativa, desde que utilizada adequadamente. Podemos verificar que pouco ou quase nada, tem sido produzido para introduzir no ensino de ligação química, a história da ciência. Alguns motivos podem ser elencados, para a não utilização da história da ciência no ensino de ligação química: falta de material pedagógico, falta de

formação do professor, falta de investigação da natureza da ligação química, o uso inquestionável de livros didáticos, a reprodução mecânica do ensino que o professor recebeu e a não preocupação com a construção das concepções alternativas dos alunos.

Para que o professor possa fazer diferente o que está acostumado a repetir constantemente, como por exemplo, um plano de aula que realiza da mesma maneira há anos, precisa se sentir seguro o suficiente para enfrentar uma mudança. A segurança é dada por materiais pedagógicos e conhecimento do assunto, logo, verificamos que mais propostas de intervenção precisam ser realizadas no Brasil, pois estudos na língua materna são mais fáceis de circular entre professores da educação básica.

## Referências

- ACEVEDO, J. A. *et al.* Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino das ciências. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2005.
- AKOBENG, A. K. Understanding systematic reviews and meta-analysis. **Archives of Disease in Childhood**, v. 90, n. 8, p. 845-848, 2005.
- AROMATARIS E.; PEARSON A. The systematic review: an overview. **American Journal of Nursing**, v. 114, n. 3, p. 53-58, 2014.
- ARRIGO V. *et al.* Análise dos Artigos Sobre 'Natureza da Ciência' Publicados na Seção História da Química da Revista QNEsc entre 1995-2016, **Química Nova na Escola**, v. 40, n. 3, p. 178-185, 2018.
- BALDINATO, J. O.; PORTO, P. A. 20 anos de QNEsc: Uma História, Muitas Histórias. **Química Nova na Escola**, v. 37, número especial 2, p. 166-171, dez. 2015.
- BENSAUDE-VINCENT, B. Philosophy of chemistry or philosophy with chemistry? **Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 20, p. 59-76, 2014.
- BEZERRA, A. S.; Silva, R. R. Ligações Químicas: as primeiras teorias. **Educación Química**, v. 12, n. 3, p. 179-183, 2001.
- BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.
- BRASIL, **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf) Acesso em: 10 jul. 2020
- BRASIL, Secretaria da Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2006.
- BUNGE, M. Is chemistry a branch of physics? **Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie**, v.13, p. 209–223, 1982.
- CACHAPUZ A. *et al.* A emergência da didática das ciências como campo específico de conhecimento. **Revista Portuguesa de Educação**, Braga, v. 14, n. 1, p. 155-195. 2001.
- CACHAPUZ A. *et al.* (orgs.) **A Necessária Renovação do Ensino das Ciências**. São Paulo: Cortez Editora, 2005. 264p.

CALLEGARIO, L. J. *et al.* A História da Ciência no Ensino de Química: Uma Revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 3, p. 977-991, 2015.

CHASSOT, A. **Alfabetização Científica: Questões e Desafios para a Educação**. 3ªed. Ijuí: UNIJUÍ, 2003. 440p.

COOK, D. J. Systematic Reviews: Synthesis of Best Evidence for Clinical Decisions. **Annals of Internal Medicine**, v. 126, n. 5, p. 376-380, 1997.

COSTA, A. B.; ZOLTOWSKI A. P. C. Como escrever um artigo de revisão sistemática. In: KOLLER, S. H., COUTO, M. C., HOHENDORFF, J. V. (orgs.) **Manual de produção científica**. Porto Alegre: Editora Penso, 2014. Cap. 3, p. 55-70.

CRESWELL, J. W. The process of conducting research using quantitative and qualitative approaches. In: CRESWELL, J. W. **Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research**. Boston, MA: Pearson Education, 4nd ed., 2012, Chap. 1, p. 2-41.

CROFT, M. **Towards the development of a pedagogical history for a key chemical idea: Chemical bonding**. Master's thesis, Avondale College, Australia, 2010.

CROFT M.; BERG K. From common sense concepts to scientifically conditioned concepts of chemical bonding: an historical and textbook approach designed to address learning and teaching issues at the secondary school level, **Science & Educacion**, v. 23, n. 9, p. 1733–1761, 2014.

CORDEIRO, A. M. *et al.* Revisão sistemática: uma revisão narrativa. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, v. 34, n. 6, p. 428-431, 2007.

DE JONG, O. Research and teaching practice in chemical education: living apart or together. **Chemical Education International**, v. 6, n. 1, p. 1-6, 2005.

DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO; M. C., TAKAHASHI; R. T., & BERTOLOZZI, M. R. Revisão sistemática: noções gerais. **Revista Escola de Enfermagem**, v. 45, n. 5, p. 1255-1261, 2011.

DEVANZO, C. U.; CHAGAS, A. P. Gilbert Newton Lewis e a revolução dos pares eletrônicos. **Química Nova**. v. 16, n. 2, 1993 p. 152-154.

DI GIACOMO, F. Early theoretical chemistry: Plato's chemistry in Timaeus, **Foundations of Chemistry**, v. 22, p. 1-14, 2020.

ERDURAN, S. Philosophy of Chemistry: An Emerging Field with Implications for Chemistry Education. **Science & Education**, v.10, n.6, p. 581-593, 2001.

FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. Concepções dos estudantes sobre ligação química. **Química Nova na Escola**, v. 24, p. 20-24, 2006.

FERNÁNDEZ-RÍOS, L.; BUELA-CASAL, G. Standards for the Preparation and Writing of Psychology Review Articles, **International Journal of Clinical and Health Psychology**, v. 9, n. 2, p. 329-344, 2009.

FILGUEIRAS, C.A.L. Gilbert Lewis e o centenário da teoria de ligação por par de elétrons. **Química Nova**, v. 39, p. 1262-1268, 2016.

FRANCISCO, C. A.; QUEIROZ, S. L. A produção do conhecimento sobre o ensino de química nas Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química: uma revisão. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2100-2110, 2008.

FRAZER, M. J. A pesquisa em Educação Química. **Química Nova**, v. 5, n. 4, p.126-128, 1982.

GILLESPIE R. J., ROBINSON E. A., Gilbert N. Lewis and the Chemical Bond: The Electron Pair and the Octet Rule from 1916 to the Present Day. **Journal of Computational Chemistry**. v. 28, n. 1, p. 87-97, 2007.

GIL-PÉREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 197-212, 1993.

HENDRY, R. F. Two Conceptions of the Chemical Bond. **Philosophy of Science**, v. 75, n. 5, p. 909-920, 2008.

HOFFMANN, R. What might philosophy of science look like if chemists built it? **Synthese**, v.15, p. 321–336, 2007.

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

JUSTI, R. S.; A afinidade entre as substâncias pode explicar as reações químicas? **Química Nova na Escola**. n.7, p.26-29, Maio, 1998.

KAVALEK, D. S. *et al.* Filosofia e História da Química para Educadores em Química. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v.12, p. 1-13, 2015.  
Disponível em: <http://revistas.pucsp.br/index.php/hcensino/article/view/21917> Acesso em: 11 jul. 2020.

KHAN K.S., *et al.* Five steps to conducting a systematic review. **Journal of the Royal Society of Medicine**, v. 96, n. 3, p.118-121, 2003.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13ª ed., São Paulo: Editora Perspectiva, 2017. 323p.

LABARCA, M.; BEJARANO, N.; EICHLER, M.L. Química e Filosofia: Rumo a uma frutífera colaboração. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1256-1266, 2013.

LEMES, A. F.; PORTO, P. A. O fazer química e o ensinar química: algumas considerações em torno do realismo químico. **Enseñanza de la Ciencias**, v. extra, p. 1531-1538, 2013a.

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

LAKATOS, I. History of Science and Its Rational Reconstruction. Boston **Studies in the Philosophy of Science**, v.8, p.91-136, 1971.

LOGUERCIO, R.Q.; Del Pino J.C. Contribuições da História e da Filosofia da Ciência para a construção do conhecimento científico em contextos de formação profissional da química. **Acta Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 67-77, 2006.

LOMBARDI, O.; LABARCA, M. En defensa de la autonomía ontológica del mundo químico. **Diálogos**, v. 84, p. 51-70, 2004.

LOPES, A. R. C. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio e a submissão ao mundo produtivo: o caso do conceito de contextualização. **Educação & Sociedade**, v. 23, n. 80, p. 386-400, 2002.

LUTFI, M. **Cotidiano e educação em química: os aditivos em alimentos como proposta para o ensino de química no 2º grau**. 1ª ed., Ijuí: Unijuí, 1988. 224p.

MARQUES, D. M. **Dificuldades e possibilidades da utilização da história da ciência no ensino de química: um estudo de caso com professores em formação inicial**. 2010. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências), UNESP, Bauru, 2010.

MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, v.24, n.1, p. 112-131, 2007.

MARTINS, L. A. P. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MEGID NETO, J. **Tendências da pesquisa acadêmica sobre o Ensino de Ciências no nível fundamental**. Tese (Doutorado em Educação), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

MELLADO, V.; CARRACEDO, D. Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, pp. 331-339, 1993.

MOHER D., *et al.* for the QUOROM Group\*. Improving the quality of reports of meta-analyses of randomised controlled trials: the QUOROM statement. **British Journal of Surgery**, v. 87, p.1448-1454, 2000.

MÓL, G. S.; SILVA, R. M. G.; F. N. SOUZA. Dificuldades e perspectivas para a pesquisa no ensino de química no Brasil. **Indagatio Didactica**, Aveiro, v. 5, n. 2, p. 178-199, 2013.

OKI, M. C. M.; MORADILLO, E. F. O ensino de história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 67-88, 2008.

PACHECO, L.L.; FREITAS-REIS, I. Caminhos preparatórios de Lewis e seu interesse pelas ligações químicas. **Educación Química**, v. 31, n. 3, p. 2-14, 2020.

PAULING L. Modern Structural Chemistry. **Nobel Lecture**, p. 429-437, 1954.

PAZINATO M. S. **Ligações Químicas: investigação da construção do conhecimento no ensino médio**. Tese de Doutorado (Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2016.

SCERRI, E.; MCINTYRE, L. The Case for the Philosophy of Chemistry. **Synthese**, v. 111, p. 213-232, 1997.

SCHNETZLER, R. P. Pesquisa em Ensino de Química no Brasil: Conquistas e Perspectivas. **Química Nova**, v.25, suplemento 1, p.14-24, 2002.

SHULTZ, G. V.; GERE, A. R. Writing-to-learn the nature of science in the context of the Lewis dot structure model. **Journal of Chemical Education**, v. 92, n. 8, p. 1325-1329, 2015.

SOARES, M. H. F. B.; MESQUITA, N. A. S.; REZENDE, D. B. O ensino de química e os 40 anos da SBQ: o desafio do crescimento e os novos horizontes. **Química Nova**, Vol. 40, nº. 6, p.656-662, 2017.

SOUSA M. R., RIBEIRO A. L. Revisão sistemática e meta-análise de estudos de diagnóstico e prognóstico: um tutorial. **Arquivos Brasileiro de Cardiologia**, v. 92, n. 3, p. 241-251, 2009.

SUTCLIFFE B. T. The Development of the Idea of a Chemical Bond. **International Journal Quantum Chemistry**. v. 58, p. 645 – 655, 1996.

TOMA, H. E. Ligações Química: abordagem clássica ou quântica? **Química Nova na Escola**, n.6, p.8-12, nov., 1997.

VILLANI, A. Filosofia da ciencia e ensino de ciência: Uma analogia. **Ciencia & Educação** v.7, n.2, p. 169-181, 2001.

WARTHA, E. J.; SILVA, E. L.; BEJARANO, N. R. R. Cotidiano e contextualização no ensino de química. **Química Nova na Escola**, v. 35, n.2, p. 84-91, 2013.

WEISBERG, M. Qualitative Theory and Chemical Explanation. **Philosophy of Science Commons**. v. 71, p. 1071-1081, 2004.

WEISBERG, M. Challenges to the Structural Conception of Bonding. **Philosophy of Science**, v.75, p. 932-946, 2008.