

ESCOLA DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA
MESTRADO

THIAGO VON MULHEN FERREIRA VICENTINI

**ESTUDO DAS ABORDAGENS DO CONHECIMENTO, DAS REPRESENTAÇÕES MENTAIS E
DOS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA**

Porto Alegre
2018

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*



Pontifícia Universidade Católica
do Rio Grande do Sul

THIAGO VON MULHEN FERREIRA VICENTINI

**ESTUDO DAS ABORDAGENS DO CONHECIMENTO, DAS
REPRESENTAÇÕES MENTAIS E DOS OBSTÁCULOS
EPISTEMOLÓGICOS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como exigência para a obtenção do grau de Mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Maurivan Güntzel Ramos

PORTO ALEGRE

2018

Ficha Catalográfica

V633e Vicentini, Thiago Von Mulhen Ferreira

Estudo das abordagens do conhecimento, das representações mentais e dos obstáculos epistemológicos em livros didáticos de Química / Thiago Von Mulhen Ferreira Vicentini . – 2018.

122 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, PUCRS.

Orientador: Prof. Dr. Maurivan Güntzel Ramos.

1. Ensino de Química. 2. Abordagens do conhecimento químico. 3. Representações mentais. 4. Obstáculos epistemológicos. 5. PNLD. I. Ramos, Maurivan Güntzel.
II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da PUCRS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Bibliotecária responsável: Salete Maria Sartori CRB-10/1363

THIAGO VON MULHEN FERREIRA VICENTINI

**"ESTUDOS DAS ABORDAGENS DO CONHECIMENTO,
REPRESENTAÇÕES E DOS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS EM
LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Educação em Ciências e Matemática.

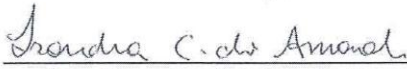
Aprovada em 28 de março de 2018, pela Banca Examinadora.



Dr. Maurivan Güntzel Ramos (Orientador - PUCRS)



Dr. Bruno Pastoriza (UFPEL)



Dra. Lisandra Catalan do Amaral (PUCRS)

AGRADECIMENTOS

Ao concluir esta Dissertação, gostaria de fazer os seguintes agradecimentos:

- a Deus por me sustentar no decorrer desta pesquisa;
- à minha mãe, Rosana, que acreditou no valor dos meus estudos e me apoiou sempre que possível nos últimos anos;
- à minha companheira Ana Paula, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos cruciais da minha vida acadêmica;
- ao meu orientador, Maurivan Güntzel Ramos, por acreditar que eu seria capaz de realizar todas as tarefas planejadas. Agradeço todos os momentos em que discutimos assuntos relacionados à pesquisa, e também nossos diálogos diversos, que foram de grande inspiração para eu ser um professor melhor a cada dia;
- aos professores do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática (EDUCEM) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS,) por suas contribuições no decorrer das minhas pesquisas;
- aos funcionários do EDUCEM, pela sua atenção sempre que necessária;
- ao Laboratório de Aprendizagem (LAPREN) da PUCRS, por ceder espaços para a realização do meu trabalho;
- a CAPES, pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Enfim, agradeço a todos os amigos que conheci no decorrer destes dois anos de mestrado, e certamente o serão para toda a vida.

RESUMO

Esta pesquisa teve por objetivo compreender como as quatro coleções de livros didáticos do componente Química aprovados no PNLD de 2015 abordam os conhecimentos químicos, na perspectiva de Johnstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000), como promovem requisitos para formação de representações mentais, em Peirce (1974), e como se comportam em relação aos obstáculos epistemológicos, em Bachelard (1996). Para esta análise, foram selecionados capítulos de *Reações Químicas*, *Cinética Química* e *Função Álcool* como fontes de textos para a investigação, devido à importância desses conhecimentos para o nível acadêmico da Educação Básica. Os textos foram analisados qualitativamente, relacionando as principais características das redações dos capítulos com os pressupostos teóricos que orientam a investigação. Por meio da análise empreendida, conclui-se que as obras não possuem as mesmas propriedades referentes aos modos de abordar os conhecimentos químicos, tendo a maioria dos textos apresentados deficiências em relação à abordagem fenomenológica. Sobre as representações mentais, grande parte dos livros não demonstraram características adequadas, principalmente relacionadas com a *primeiridade*, estágio inicial para a formação de uma representação mental. Referentes aos obstáculos epistemológicos, uma quantidade pouco significativa foi identificada, não tendo relevância em relação à aprendizagem dos conhecimentos químicos presentes nos livros didáticos.

Palavras-chave: Ensino de Química; Abordagens do conhecimento químico; Representações mentais; Obstáculos epistemológicos; PNLD.

ABSTRACT

This research contains information on four collections of textbooks of the Chemical component approved in the PNLD of 2015 address the chemical knowledge, promoting requisites for the formation of mental representations, in Peirce (1974), and avoiding epistemological obstacles, in Bachelard. For this analysis, chapters of Chemical Reactions, Chemical Kinetics and Alcohol function were selected as sources of texts for the investigation, due to the importance of this knowledge for the academic level of Basic Education. The texts were analyzed qualitatively, relating the main characteristics of the essays of the chapters with the theoretical assumptions that guided the investigation. With respect to the approach of aspects of chemical knowledge and mental representations, the analysis aimed to understand convergent characteristics in the writing of the texts with the theory of Jonhstone, assumptions of Mortimer and the semiotic theory of Peirce. With regard to the epistemological obstacles, tables were built to identify and categorize the impediments identified in the texts. With the end of the analysis, it was understood that the books do not have the same properties regarding the ways of approaching chemical knowledge, and most of the texts presented deficiencies in relation to the phenomenological approach. Regarding mental representations, most of the books did not demonstrate adequate characteristics, mainly related to the First *level*, initial stage for the formation of a mental representation. Regarding the epistemological obstacles, a small quantity was identified, not having any relevance to impair the learning of the chemical knowledge present in the textbooks

Keywords: Chemistry teaching; Chemical knowledge approaches; Mental representations; Epistemological obstacles; PNLD.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Triangulação dos aspectos do conhecimento químico	21
Figura 2 - Imagem que mostra obstáculo epistemológico realista	33
Figura 3 - Ilustração de situação de obstáculo epistemológico animista	34
Figura 4 - Abordagens dos conhecimentos das Reações Químicas	46
Figura 5 - Introdução do conceito de reação química na obra A	48
Figura 6 - Introdução de reação química e lei de conservação de massa na obra B	50
Figura 7 - Estudo da Lei da Conservação das Massas da obra C	53
Figura 8 - Abordagem de razões de análise na obra D	55
Figura 9 - Abordagens dos conhecimentos da Cinética Química	66
Figura 10 - Exemplo de abordagem da ferrugem na obra A	67
Figura 11 - Exemplo de abordagem simbólica do buraco na camada de ozônio na obra A	69
Figura 12 - Exemplo de abordagens teórica e simbólica da reação de combustão na obra C	70
Figura 13 - Exemplo de abordagem fenomenológica da combustão na obra C	71
Figura 14 - Exemplo de abordagem simbólica da superfície de contato na obra C	72
Figura 15 - Abordagem da teoria das colisões na obra B	73
Figura 16 - Abordagem dos fatores que alteram a velocidade das Reações Químicas na obra B	76
Figura 17 - Interpretação de rapidez de reação química na obra D	77
Figura 18 - Abordagem da teoria das colisões na obra D	78
Figura 19 - Abordagem da teoria das colisões da obra A	87
Figura 20 - Abordagem da reação de combustão da obra D	88
Figura 21 - Abordagem da reação de combustão da obra D	89
Figura 22 - Abordagens dos conhecimentos da função álcool	92
Figura 23 - Abordagem da combustão do etanol na obra A	94
Figura 24 - Abordagem do conceito álcool na obra B	96
Figura 25 - Abordagem da classificação de álcoois na obra C	98
Figura 26 - Abordagem da nomenclatura de diálcoois e triálcoois da obra D	100
Figura 27 - Abordagem de ligações de hidrogênio da obra B	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Referências das coleções de livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2015	40
Quadro 2 - Organização das etapas de análise	41
Quadro 3 - Propriedades convergentes com os pressupostos de Mortimer (2000)	42
Quadro 4 - Características favoráveis à formação de representações mentais	43
Quadro 5 - Abordagens do conhecimento químico nos textos analisados sobre Reações Químicas	56
Quadro 6 - Abordagens do conhecimento químico nos textos analisados sobre Cinética Química	79
Quadro 7 - Abordagens do conhecimento químico nos textos analisados sobre Função Álcool	101

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA	14
2.1	Contextualização	14
2.2	Problema de Pesquisa	17
2.3	Objetivos geral e específicos da investigação	17
3	PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	19
3.1	Abordagens do Conhecimento Químico	19
3.2	Representações mentais	23
3.3	Modelos mentais	26
3.4	Obstáculos epistemológicos	30
3.5	Livro didático como recurso pedagógico	35
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA	37
4.1	Abordagem de pesquisa	37
4.2	Contexto de pesquisa	39
4.3	Objetos de pesquisa	39
4.4	Instrumentos de pesquisa	40
4.5	Organização e procedimentos metodológicos da pesquisa	40
4.6	Descrição dos procedimentos de análise dos dados	41
4.6.1	Procedimento de análise das abordagens do conhecimento químico	41
4.6.2	Procedimento de análise das representações mentais	43
4.6.3	Procedimento de análise dos obstáculos epistemológicos	44
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	45
5.1	Análise dos capítulos dos livros em relação às <i>Reações Químicas</i>	45
5.1.1	Abordagens do conhecimento químico em textos sobre <i>Reações Químicas</i>	45
5.1.2	Análise das representações mentais sobre <i>Reações Químicas</i> nas obras investigadas	56
5.1.3	Análise dos obstáculos epistemológicos em capítulos de <i>Reações Químicas</i>	63
5.1.4	As <i>Reações Químicas</i> nos livros didáticos do PNLD 2015: uma síntese	64
5.2	Análise de capítulos dos livros em relação à <i>Cinética Química</i>	65

5.2.1	Abordagens do conhecimento químico em textos sobre <i>Cinética Química</i>	65
5.2.2	Análise das representações mentais sobre <i>Cinética Química</i> nas obras investigadas	80
5.2.3	Análise dos obstáculos epistemológicos em capítulos de <i>Cinética Química</i>	85
5.2.4	A <i>Cinética Química</i> nos livros didáticos do PNLD 2015: uma síntese	90
5.3	Análise de capítulos dos livros em relação à <i>Função Álcool</i>	91
5.3.1	Abordagens do conhecimento químico em textos sobre <i>Função Álcool</i>	91
5.3.2	Análise das representações mentais sobre <i>Função Álcool</i> nas obras investigadas	102
5.3.3	Análise dos obstáculos epistemológicos em capítulos de <i>Função Álcool</i>	108
5.3.4	A <i>Função Álcool</i> nos livros didáticos do PNLD 2015: uma síntese	110
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
	REFERÊNCIAS	119

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Química, assim como das demais áreas do conhecimento, tem tido que habituar-se a novas situações e ambientes para os processos de ensino e de aprendizagem, devido ao avanço de novas tecnologias vinculadas a educação e a novos espaços para realização de atividades pedagógicas. Todavia, mesmo com todos os avanços dos últimos anos, o recurso pedagógico mais acessível e difundido nas escolas de Educação Básica no Brasil continua a ser os livros didáticos.

Devido à importância que esses recursos possuem no panorama atual da educação, é importante que esses materiais tenham características adequadas relacionadas aos aprendizados dos conceitos por parte dos estudantes, apresentando linguagem propícia, sem equívocos conceituais.

A partir dessa situação, nesta dissertação foi realizada uma pesquisa qualitativa que visou identificar e compreender a presença de características adequadas às abordagens do conhecimento químico (JOHNSTONE, 1993) e a relações desse conhecimento com a teoria das representações mentais (PEIRCE, 1974) e com os obstáculos epistemológicos (BACHELARD, 1996) em livros didáticos de Química aprovados no último PNLD, no ano de 2015. Como fonte de material para análise, foram escolhidos os capítulos de *Reações Químicas* (1º ano), *Velocidade das Reações* (2º ano) e *Função Álcool* (3º ano). Esses capítulos foram escolhidos devido à sua valorização pelos professores de Química da Educação Básica.

A escolha da realização desta pesquisa com os livros didáticos, como campo de análise, pode ser justificada pela importância que esse recurso pedagógico possui no contexto das aulas de Química, na Educação Básica. Esse recurso, em muitas circunstâncias, pode ser o único disponível para professores e estudantes (Fracalanza, Amaral, Gouveia, 1987).

Além da introdução, a presente dissertação está organizada em mais seis capítulos. O Capítulo 2, nomeado “**Contextualização e Problematização**” apresenta a trajetória do autor e o contexto da pesquisa, bem como o problema, as questões de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos.

No Capítulo 3, intitulado “**Referencial teórico**”, são descritos os fundamentos teóricos que embasam a pesquisa, buscando estudos sobre abordagens do conhecimento químico, semiótica peirciana, modelos mentais, obstáculos epistemológicos segundo Bachelard e importância do livro didático como recurso pedagógico.

Na sequência, está presente o Capítulo 4, intitulado “**Procedimentos Metodológicos da Pesquisa**”, no qual são descritas a abordagem de pesquisa, o contexto em que ela é realizada, os objetos de pesquisa, os instrumentos necessários, a organização e a descrição metodológica da análise.

No Capítulo 5, intitulado é apresentada a “**Análise e Discussão dos Resultados**”, são apresentados os principais argumentos produzidos a partir das análises realizadas no capítulo anterior, referentes às questões de pesquisa.

Este trabalho encerra-se nas “**Referências Bibliográficas**”, com a apresentação das obras empregadas para a composição desta dissertação.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA

Neste capítulo é apresentada, inicialmente, a minha trajetória acadêmica. Na sequência, é apresentado o problema de pesquisa, objetivo geral, questões de pesquisa e os objetivos específicos.

2.1 Contextualização da pesquisa

Minha educação básica foi realizada integralmente em escolas privadas. No decorrer do Ensino Médio, participei de diversas atividades extraclases referentes à área das Ciências Naturais, tendo realizado trabalhos para a mostra científica na escola durante três anos seguidos e participado da equipe de alunos que ganhou o prêmio Jovem Cientista no ano de 2011.

Ao concluir o Ensino Médio, ingressei no curso de Engenharia de Controle e Automação da PUCRS. Essa decisão foi tomada após ter pesquisado muito a respeito desse curso no decorrer do último ano de escola. Ao ingressar no ensino superior, deparei com uma realidade um pouco diferente daquela que alimentava a minha expectativa com relação ao curso escolhido. Meu desempenho no curso foi bom, mas no decorrer do primeiro semestre fui observando que não tinha vocação para aquela profissão. Diante da constatação, no final do primeiro semestre de 2012, solicitei minha transferência para o curso de Licenciatura em Química, que também era uma opção quando pensava em seguir uma profissão.

Ao ingressar na Licenciatura em Química, encontrei o curso ideal para mim, no qual me senti inserido em um mundo que me atraía e me deixava com vontade de aprender tudo sobre ele. Desde o primeiro semestre, me envolvi com atividades extraclasse, tendo participado de pesquisa sobre polimerização e caracterização de nanofibras de polipirrol, até o final de 2012, com bolsa de iniciação científica. Com essa experiência, aprendi a investigar e a escrever, e descobri que tinha habilidades que estavam além dos conteúdos de Química. Muitas delas foram desenvolvidas quando ainda estava na Educação Básica, mas agora resgatando e me reconhecendo como um pesquisador.

Em dezembro de 2013, ingressei no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (Pibid), por indicação de colegas da Faculdade de

Química. Tomei essa decisão com o objetivo de me aproximar da realidade da escola, buscando mais experiência na área da docência. As disciplinas cursadas na faculdade podem proporcionar um conhecimento teórico, mas eu buscava o movimento dinâmico de uma escola com o intuito de significar na prática o que discutimos na universidade.

Desse modo, tive a oportunidade de vivenciar experiências enriquecedoras na área, reconhecendo desde a rotina que existe na escola até a interface com a Universidade por meio da participação em eventos sobre Educação Química. O movimento do Pibid transita entre a universidade e a escola, podendo transformar-se em produção acadêmica. É uma experiência em movimento, por meio da qual observamos o quanto ensinamos, aprendemos e transformamos a escola e a própria universidade. Por vezes, os movimentos são pequenos, mas tenho a convicção de que fazem a diferença para aquele aluno e aquele professor da Educação Básica, ou seja, todos os pibidianos¹. Além do envolvimento no Pibid, tive outras experiências em sala de aula, como professor de Química, em estágios obrigatórios e em oportunidades de emprego na área durante o período de graduação. No decorrer dos anos, fui me impressionando como estar em uma sala de aula é importante, não somente para os estudantes, mas para mim como professor também, pois, em cada dia em que desenvolvia minhas práticas docentes, ocorriam novas experiências que me aperfeiçoavam na minha profissão.

No último semestre do curso de licenciatura, na última disciplina de estágio supervisionado, cujo nome era Prática Docente de Química II, em um debate sobre práticas pedagógicas, foi a primeira vez que ouvi o termo obstáculo epistemológico, assunto que me interessou intensamente. Nas semanas seguintes, realizei pesquisas em relação aos obstáculos epistemológicos de Bachelard (1996) e percebi sua importância dentro de uma sala de aula, de como a presença desses impedimentos pode prejudicar o processo de ensino e de aprendizagem. Quando elaboro o planejamento de aulas, atualmente, busco identificar possíveis obstáculos que podem ocorrer e tento sempre solucioná-los de algum modo. Os obstáculos não estão presentes em atitudes do professor em sala de aula, mas, com frequência, eles podem

¹ Nome pelo qual os participantes (bolsistas de iniciação à docência, supervisores, coordenadores) são denominados no âmbito do programa Pibid.

ser facilmente encontrados em materiais para o ensino, principalmente em livros didáticos, tanto em linguagem escrita quanto pictórica.

Concluí a graduação no final de 2015 e ingressei no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática para continuar minha formação acadêmica e para aperfeiçoar meus conhecimentos e habilidades dentro da área do ensino de Ciências e, principalmente, avançar na formação, como pesquisador.

Logo no primeiro semestre, quando ingressei no curso de Mestrado, na disciplina de Museu Interativo, comecei a estudar mais sobre como funciona o processo de construção de modelos mentais, e, mais adiante, sobre representações mentais, conseguindo criar relações com tudo o que tinha pesquisado sobre obstáculos epistemológicos de Bachelard (1996). Assim, comecei a entender mais esse campo de estudo, em especial, que qualquer impedimento no processo de aprendizagem de um fenômeno pode implicar representação mental equivocada. No decorrer do Mestrado, tenho aperfeiçoado meus conhecimentos sobre representações mentais e iniciei o estudo dos conceitos envolvidos com a “semiótica” de Peirce (2005), área do conhecimento que busca conhecer o processo da formulação de representações a partir de acontecimentos externos à mente humana.

No decorrer da elaboração do projeto de pesquisa, junto aos estudos sobre representações mentais e obstáculos epistemológicos, para complementar o processo investigativo, realizei leituras diversas sobre processos de ensino e de aprendizagem de conhecimentos sobre Química. Nessas leituras, aprofundei meus conhecimentos sobre os pressupostos de Mortimer (2000), sobre as abordagens do conhecimento químico.

Após ter passado por todas as experiências que descrevi neste capítulo, concluí que a abordagem do conhecimento químico possui vínculos importantes com a área da semiótica de Peirce, com destaque para o estudo de representações mentais. Em paralelo, há possibilidade de ser relacionado a esses conhecimentos o trabalho realizado por Bachelard, no campo dos obstáculos epistemológicos.

2.2 Problema de pesquisa

Esta dissertação parte do referencial sobre as abordagens dos diferentes elementos do conhecimento químicos (Johnstone, 1993), considerando que são necessárias para propiciar um processo de aprendizagem de qualidade, podendo gerar, aos estudantes, processos de construção de representações mentais (PEIRCE, 2005) coerentes aos conceitos apresentados no livro didático, e não promovendo obstáculos epistemológicos (BACHELARD, 1996). O problema de pesquisa que norteou esta investigação pode ser expresso pela seguinte questão: ***De que modo capítulos dos livros de Química do PNLD 2015 estão adequados em relação às abordagens do conhecimento químico, às representações mentais e aos obstáculos epistemológicos?***

Por meio do problema de pesquisa, foram elaboradas as seguintes questões de pesquisa com o intuito de guiar o processo de investigação:

- De que modo os textos e imagens estão presentes em capítulos de livros de Química aprovados no PNLD 2015, na perspectiva das abordagens dos aspectos do conhecimento químico?
- De que modo os textos e imagens estão presentes em capítulos de livros de Química aprovados no PNLD 2015, na perspectiva da representação mental desses conteúdos?
- De que modo os textos e imagens estão presentes em capítulos de livros de Química aprovados no PNLD 2015, na perspectiva dos obstáculos epistemológicos?
- Como se integram as abordagens dos aspectos do conhecimento químico, a representação mental e os obstáculos epistemológicos presentes em livros de Química aprovados no PNLD 2015?

2.3 Objetivos geral e específicos da investigação

A investigação teve como objetivo geral: ***compreender modo em que capítulos dos livros de Química do PNLD 2015 estão adequados em relação às abordagens do conhecimento químico, relacionando-os com as representações mentais e aos obstáculos epistemológicos.***

Os objetivos específicos da investigação são:

- identificar a presença de abordagens dos aspectos do conhecimento químico nos textos e imagens dos livros de Química aprovados no PNLD de 2015;
- identificar modos de representação mental nos textos e imagens dos livros de Química aprovados no PNLD de 2015;
- identificar possíveis obstáculos epistemológicos, presentes em textos e imagens presentes nos livros de Química aprovados no PNLD de 2015;
- integrar as abordagens dos aspectos do conhecimento químico, a representação mental e os obstáculos epistemológicos presentes em textos e imagens presentes nos livros de Química aprovados no PNLD de 2015.

3 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

Neste capítulo, são apresentados conceitos relacionados ao que se propõem nesta investigação, com o intuito de fundamentar por meio de diversos autores os conceitos teóricos que serão utilizados no decorrer do processo investigativo. O capítulo está organizado em sessões de modo a fundamentar os principais campos de estudo relacionados à pesquisa, tais como: abordagens do conhecimento químico em Johnstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000); representações mentais em Peirce (1974); e obstáculos epistemológicos em Bachelard (1996). Também são feitas breves considerações sobre o livro didático como recurso pedagógico.

3.1 Abordagens do conhecimento químico

No decorrer dos últimos anos, diversos recursos tecnológicos foram inseridos no meio da educação, inclusive no ensino de Química. No entanto, mesmo com todos os recursos disponíveis para enriquecer as atividades desse componente, o ensino de Química continua tendo como caráter principal a abordagem teórica dos conceitos químicos, sendo um estudo conceitual na maior parte do tempo (MORTIMER, 2000). Segundo o mesmo autor, esse fenômeno pode gerar uma má compreensão dos conceitos discutidos, levando a uma mecanização dos conhecimentos relacionados à Química.

Para compreender como o processo de aprendizagem de conhecimentos químicos pode ser mais eficaz, Johnstone (1993) realizou estudos e pesquisas, no qual categoriza diferentes elementos primordiais para aprender de modo complexo os conhecimentos da Química. Em seu trabalho, o autor distingue os elementos do conhecimento em três categorias, denominadas: macroscópico, microscópico e representacional. Por meio dessas categorias, é possível formular uma triangulação entre as mesmas, nomeada Triangulação de Johnstone.

As categorias formuladas pelo autor representam diferentes relações que o sujeito pode ter com o conhecimento, no qual, ao realizar ações que

atendam todas as categorias, teria um aprendizado satisfatório e complexo referente ao conhecimento estudado.

Segundo o autor, a categoria macroscópica, seria correspondente à compreensão de fenômenos naturais de modo simples e macroscópicos. A categoria representacional estaria vinculada com a utilização de linguagem científica que represente os fenômenos naturais. A categoria microscópica corresponde à compreensão de conceitos microscópicos, como átomos e moléculas.

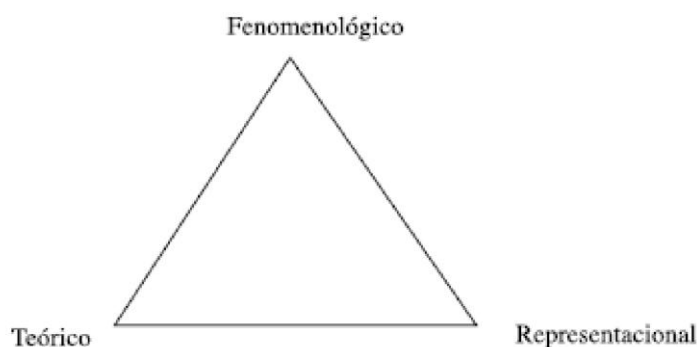
Convergente com essa teoria, Mortimer, Machado e Romanelli (2000) propõe uma discussão a respeito do modo de abordar o conteúdo programático do componente Química, usando como fundamento as diferentes abordagens que o conhecimento pode ser apresentado para os estudantes da Educação Básica. Essas abordagens seriam categorizadas em três, intituladas abordagem fenomenológica (macroscópica), abordagem teórica (microscópica) e abordagem representacional (simbólica).

De acordo com os autores, a maior parte dos livros didáticos tendem a enfatizar de modo exagerado as representações dos conhecimentos presentes, desmerecendo as demais abordagens.

A ausência dos fenômenos nas salas de aula pode fazer com que os alunos tomem por “reais” as fórmulas das substâncias, as equações químicas e os modelos para a matéria. É necessário, portanto, que os três aspectos compareçam igualmente. A produção de conhecimento em Química resulta sempre de uma dialética entre teoria e experimento, pensamento e realidade. (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 2000, p. 277).

Partindo desses pressupostos, é desejável que todas as abordagens estejam presentes no decorrer das discussões dos conhecimentos químicos presentes nos livros didáticos. A triangulação dessas abordagens pode ser importante para uma aprendizagem mais efetiva por parte dos estudantes. Essa relação pode ser expressa na Figura 1.

Figura 1 – Triangulação dos aspectos do conhecimento químico



Fonte: Mortimer, Machado e Romanelli (2000, p. 277).

A abordagem fenomenológica consiste no processo, no qual fenômenos macroscópicos são discutidos na perspectiva da Química para demonstrar que os conhecimentos químicos não são somente teóricos, mas podem ser contextualizados em situações comuns, visíveis e concretas. Esses fenômenos não são necessariamente aqueles realizados em laboratório, podendo também ser situações cotidianas de um estudante da educação básica, como entrar em contato com produtos e analisa-los em um supermercado ou em uma loja de departamentos. Muitas outras situações podem ser pensadas, quando se trata da abordagem fenomenológica. Para Mortimer, Machado e Romanelli (2000, p. 276),

O aspecto fenomenológico diz respeito aos fenômenos de interesse da química, sejam aqueles concretos e visíveis, como a mudança de estado físico de uma substância, sejam aqueles a que temos acesso apenas indiretamente, como as interações radiação-matéria que não provocam um efeito visível, mas que podem ser detectadas na espectroscopia. Os fenômenos da química também não se limitam àqueles que podem ser reproduzidos em laboratório. Falar sobre o supermercado, sobre o posto de gasolina é também uma recorrência fenomenológica. Neste caso, o fenômeno está materializado na atividade social. E é isso que vai dar significação para a Química do ponto de vista do aluno.

Em relação à abordagem fenomenológica, o livro didático propicia uma mudança de compreensão da Química por parte do estudante da Educação Básica, promovendo competências e habilidades de caráter mais macroscópico, como observar e identificar fenômenos químicos ou físicos e medir variáveis.

Ao compreender os conhecimentos químicos de modo macroscópico, não somente na forma de símbolos, como grande parte dos materiais didáticos

apresentam, o estudante adquire a capacidade de compreender fenômenos cotidianos de modo mais científico, evoluindo sua percepção do senso comum a um nível mais complexo.

A abordagem teórica consiste no processo de discussão dos conhecimentos em uma escala atômico-molecular. Nesse nível de compreensão, os fenômenos são constituídos como modelos. Nessa abordagem, o entendimento passa pela escala microscópica, de difícil acesso.

Grande parte dos conhecimentos químicos disponíveis nos livros didáticos é de natureza microscópica, de modo que a compreensão de suas propriedades passa pelo domínio molecular, necessitando de modelos ou representações.

A abordagem representacional consiste no uso de símbolos e signos, como, por exemplo, os usados na linguagem química presente nos livros didáticos, expressa por fórmulas, equações, esquemas com vistas a representar fenômenos químicos. O uso de símbolos para representar nível microscópico de situações que são visualizadas em nível macroscópico é necessário para a compreensão dessas situações, para poder-se operar com elas, viabilizando, assim, os processos de pensamento em nível simbólico.

O uso de símbolos contribui para promover o diálogo entre as abordagens fenomenológica e teórica. Entretanto, é comum em diversos materiais didáticos, os conhecimentos serem apresentados apenas de modo representacional, não havendo relações com elementos macroscópicos e microscópicos do conceito estudado, o que dificulta a aprendizagem pelo alto nível de abstração envolvido.

Portanto, para a aprendizagem de conceitos e princípios químicos, é necessário um equilíbrio entre as abordagens fenomenológica, teórica e representacional, com referência a fenômenos visíveis e concretos, a definições em escalas atômico-molecular, e à utilização de símbolos e representações para viabilizar as operações mentais desses conceitos e princípios.

Nesta pesquisa, foi compreendido que a presença de abordagens dos diferentes elementos do conhecimento químico propostos por Johnstone (1993) e por Mortimer, Machado e Romanelli (2000) se faz necessária em um livro didático de modo a propiciar aos estudantes da Educação Básica, um processo

de aprendizagem mais complexo e adequado em relação aos conhecimentos químicos, necessitando a presença de fundamentos fenomenológicos, teóricos e representacionais na redação dos textos analisados.

3.2 Representações Mentais

O cuidado com a compreensão dos conceitos presentes em livros didáticos é necessário, pois esse recurso pedagógico é, ainda, um dos mais usados em escolas de Educação Básica. Assim, a linguagem com que esses materiais são elaborados deve apresentar conteúdo e forma adequados para contribuir para o estudo pelos estudantes, favorecendo a sua aprendizagem. Para analisar essa linguagem nesta investigação, adotaram-se os pressupostos de Charles Peirce.

Charles Sanders Peirce nasceu em Cambridge, no estado norte-americano de Massachusetts, em 1839. Peirce cresceu em uma família socialmente e politicamente importante para a sociedade da cidade, sendo filho de Benjamin Peirce, um matemático de destaque da universidade de Harvard. (BRENT, 1998). A educação de Peirce foi diversificada, com diversas influências de diferentes áreas do conhecimento, mas o estudo que mais cativou a atenção do mesmo foi a lógica.

No decorrer dos estudos, Peirce iniciou um trabalho que não buscava o mecanismo de como ocorre a compreensão de conceitos específicos, mas como o ser humano aprende novos conceitos, de quaisquer áreas do conhecimento. Esse trabalho era audacioso, pois ele queria identificar quais eram os elementos fundamentais que deveriam estar presentes no processo de aprendizagem. (SANTAELLA, 2001). De acordo com Brent (1998, p. 1), Peirce pretendia:

[...] construir uma filosofia como a de Aristóteles, ou seja, delinear uma teoria tão compreensível que, por um longo tempo, todo o trabalho da razão humana, na filosofia de qualquer escola ou tipo, na matemática, na psicologia, nas ciências físicas, na história, na sociologia, e em qualquer outra área que puder existir, possa aparecer como o preenchimento de seus detalhes.

Esse modo de estudo, ou análise, criado por Peirce ficou conhecido como uma área de natureza semiótica, na qual se busca perceber como ocorre

o processo de criação ou interpretação de representações ou signos. Peirce, em 1865, caracterizou a semiótica como “*Teoria Geral das Representações*” (WARTHA; REZENDE, 2011). Dentro da teoria da semiótica peirciana, é o signo que cria uma construção de representação, pois esse é notado e percebido pelo ser humano e passa a ser representativo de algo. O ser humano, ao iniciar um processo de representação por meio de um novo signo, constrói um segundo signo em sua própria percepção, podendo ser mais sofisticado ou não, representando o objeto externo à mente (PEIRCE, 2005).

Para Duval (2009), as representações podem ser de diversas naturezas, podendo ser caracterizadas como mentais, internas ou computacionais e semióticas. As representações mentais são o conjunto de imagens e percepções, que tem como objetivo instaurar concepções de objetos e situações externas ao sujeito. Essas representações são constituídas por meio de um processo de interiorização de objetos externos. Segundo Moskovici (1978), uma representação de qualquer elemento ou situação é uma imagem que busca assemelhar linguagens internas para representar o externo.

Peirce (2005), durante o desenvolvimento de sua obra, voltou sua atenção para o estudo dos fenômenos, considerando participante desta categorização: sonhos, ideias, imagens, abstrações científicas etc. Os estudos realizados, relacionados à semiótica peirciana proporcionaram um importante legado para os pesquisadores do estudo de como funciona a teorização do conhecimento.

Nesta investigação, a semiótica de Peirce (2005) é compreendida como um estudo de representações mentais que pode ser usado para entender como o ser humano interioriza representações de fenômenos externos ao sujeito, incluído os das Ciências da Natureza, como a Química.

Peirce, buscando compreender o funcionamento do ser humano em relação à teorização de novos conhecimentos, em 1867, identificou que nossa mente funciona em três diferentes estágios, para compreender um fenômeno externo. Primeiramente, Peirce nomeou os estágios em: **qualidade, relação e representação**. Devido a possíveis interpretações equivocadas da nomenclatura utilizada, a classificação foi renomeada por: **Primeiridade, Secundidade e Terceiridade**. (SOUZA; PORTO, 2010).

A primeira categoria, a **Primeiridade** está vinculada com a qualidade do signo em questão, em uma análise qualitativa do objeto ou situação, mas não faz relações com conhecimentos prévios. O primeiro passo é simples, mas mesmo assim a primeira impressão do fenômeno já exige uma abstração, mesmo que seja pouco sofisticada. Nesse estágio de construção, o signo que está tendo sua representação construída se denomina *quali-signo* e pode ser considerado como um ícone (PEIRCE, 2005).

A categoria intermediária, a **Secundidade**, é o momento em que o ser humano relaciona o *quali-signo* com outros signos consolidados pelo interpretante. O novo signo é interpretado com conhecimentos já estabelecidos, vinculando sentidos e significados ao novo. Desse modo, todo novo conhecimento para ser compreendido necessita que o interpretante possua uma experiência anterior, de modo que dificilmente um novo signo é compreendido de uma maneira isolada, conforme afirma Peirce (1974, p. 139):

Para ler o signo, e distinguir um signo de outro, o que se faz necessário são percepções sutis e familiares com os concomitantes habituais de tais aparências, e com as convenções do sistema de signos. Para conhecer o objeto, o que é preciso é a experiência prévia deste Objeto Individual.

A partir disso, neste estágio é criado o *sin-signo*, que não é apenas um ícone, mas possui significado, podendo ser também denominado de índice (PEIRCE, 2005).

O último estágio para a representação de um signo, a **Terceiridade**, é o signo que recebe seu estado final, pois é criada a lei que rege a compreensão do fenômeno. Nesse estágio, é criado o signo em sua complexidade, um símbolo, realizando a representação mental do fenômeno externo.

A interpretação desse signo recebe diferentes caminhos, variando a partir das situações que o fenômeno será interpretado, podendo haver modificações em sua representação final. Para Peirce (1974, p. 99),

Um signo “representa” algo para a ideia que provoca ou modifica. Ou assim – é um vínculo que comunica à mente de algo do exterior. O “representado” é o seu objeto; o comunicado; a significação; a ideia que provoca, o seu interpretante. O objeto da interpretação é uma representação que uma representação interpreta. Pode conceber-se uma série sem fim de representações, cada uma delas representando o anterior, encontre um limite. A significação de uma representação é outra representação. Consiste, de fato, na representação despida de roupagens irrelevantes; mas nunca se conseguirá despi-la por completo; muda-se apenas para a roupa mais diáfana.

No caso desta pesquisa, as categorias do pensamento criadas por Peirce (2005) são interpretadas como passos essenciais para a criação de uma representação mental complexa por parte do sujeito. Para a elaboração das categorias do pensamento, os livros didáticos escolhidos para a análise devem conceber artifícios que facilitem essa construção mental, tornando-se facilitadores para os sujeitos elaborarem representações corretas, não favorecendo a criação de equívocos em relação aos conceitos e fenômenos na área de Química.

3.3 Modelos Mentais

A palavra modelo é definida no senso comum como “uma representação concreta de alguma coisa”. Desde os primeiros anos de vida, os seres humanos criam modelos, observando os fenômenos que ocorrem ao seu redor. Os modelos podem ser os mais simples, como o de uma folha que cai de uma árvore no outono, ou, os mais complexos, como o da ocorrência de uma tempestade. Atualmente, a definição mais aceita para o conceito modelo é a representação de uma ideia, objeto, acontecimento, processo ou sistema, criado com um objetivo específico (GILBERT; BOULTER, 2000).

Modelos mentais são empregados em várias áreas do conhecimento, como Psicologia, Filosofia, Educação, informática, entre outros campos. Uma caracterização simples de modelos mentais é constituída do que existe nas mentes das pessoas, significando que não há como conhecer os modelos de outras pessoas. O conceito de modelo mental é complexo, e a definição depende das diversas limitações das comunidades que o empregam.

Os autores Kleer e Brown (1981), afirmam que ao fazer previsões para o funcionamento de um sistema, uma pessoa simula uma estrutura simbólica de componentes interligados. Esses componentes formam o modelo, e a maneira como eles estão organizados contribuem para o resultado. Esse processo, denominado de *simulação mental*, permite à pessoa falar de situações que já aconteceram e sobre situações futuras. A simulação mental permite fazer previsões, simulando o modelo em diversas situações. Para os autores, o processo de criar o modelo mental passa por quatro etapas: representar o

sistema; propor um modelo de como o sistema poderia funcionar, considerando sua estrutura e a composição; imaginar o sistema funcionando; comparar os resultados do sistema com a realidade.

Nessa perspectiva, o que diferencia o modelo mental do conhecimento comum é que o modelo pode ser rodado na mente para imaginar descrições de um sistema, explicações sobre seu funcionamento e previsões de estados futuros.

Outro autor relacionado a modelos mentais é Johnson-Laird (1983). Na visão desse autor, o modelo é construído a partir de eventos do mundo, usando processos cognitivos tácitos. A compreensão de algum fenômeno da realidade ocorre quando há ligação entre o modelo construído e a parte modelada. Com isso, para compreender os fenômenos ou estados das coisas, deve haver um modelo funcional pronto para a situação modelada. Johnson-Laird identificou três diferentes tipos de representações mentais: representações proposicionais, modelos mentais e imagens. As representações proposicionais são uma cadeia de símbolos que correspondem à linguagem natural; os modelos mentais são analogias de processos que ocorrem no mundo; e as imagens são pontos de vista específicos dos modelos mentais.

Rouse e Morris (1986) elaboraram uma classificação para modelos mentais, tendo em vista as diversas utilidades do conceito. Essa categorização refere-se a características do modelo e explica o funcionamento e comportamento do mesmo: Como é o sistema? (detalhamento do modelo); De que é feito o sistema? (mostrar do que o sistema é feito); Como ele funciona? (explicar o funcionamento); O que está ocorrendo? (simular o funcionamento do modelo); Para que serve? (demonstrar o propósito do modelo).

Com essas questões, Rouse e Morris (1986, p. 351) argumentam que “[...] modelos mentais são os mecanismos através dos quais os humanos são capazes de gerar descrições do propósito e forma de um sistema, explicar o funcionamento de um sistema e os seus estados observados e prever os estados futuros”.

Carrol e Olson (1988, p. 26) apresentam outra definição para modelos mentais, que caracteriza esse processo como:

Uma estrutura rica e elaborada que reflete a compreensão do usuário do que o sistema contém, de como ele funciona e de por que ele

funciona daquela forma. Ele pode ser imaginado como conhecimento suficiente sobre um sistema que permite ao usuário experimentar ações mentalmente antes de executá-la.

Essa caracterização refere que um modelo mental não é uma representação de dados isolados, mas uma estrutura complexa. As informações contidas nesse modelo são variadas, como: o que forma o sistema, como é sua estrutura, como é seu funcionamento e por quais motivos podem ocorrer comportamentos diferentes. O modelo mental se distingue de outras formas do conhecimento, porque ele pode ser simulado em diferentes situações, podendo-se imaginar diversos resultados para o processo modelado e necessitando de um grau mínimo de sistematicidade.

A elaboração de um modelo é uma atividade que pode ocorrer de maneira individual ou integrada em algum grupo de pessoas. O resultado dessa modelação não é visto diretamente, mas pode ser expresso por meio de ações, como a escrita e a fala. Desse modo, o que se pode conhecer de um modelo mental de outra pessoa é o que se denomina modelo expresso (GILBERT; BOULTER, 1995).

Morrison e Morgan (1999) destacam que os modelos mentais são instrumentos mediadores entre realidade e teoria porque são autônomos entre si, devido à independência que um modelo mental pode adquirir do fenômeno externo após o término de sua construção. O modelo mental possui autonomia natural para compreender um fenômeno. Os elementos que favorecem essa autonomia são:

- **o processo de construção de modelos:** os modelos mentais são constituídos de uma mescla de elementos provenientes da realidade e da teoria e sua construção implica simplificações que são decididas independentes de requisitos teóricos ou condições dos dados;

- **a função de um modelo:** os modelos funcionam como instrumento de investigação, permitindo ao sujeito fazer previsões e simulação de fenômenos externos;

- **representação de modelo:** são instrumentos que podem tomar formas e funções diferentes dependendo das condições em que forem modelados, podendo receber alterações quando for necessário, por meio de novos dados ou experiências;

- **aprendizagem por meio e modelos:** a aprendizagem tem lugar em dois momentos de um modelo mental, que são a sua construção e a sua utilização. No momento em que construímos um modelo mental, criamos uma estrutura representativa, desmembrando-a em uma forma científica de pensar, e quando utilizamos esse modelo, aprendemos sobre o modelado por ele mesmo, por meio de simulações e previsões.

Os modelos mentais, juntos com instrumentos de pesquisa, experimentações, dados e teorias, são participantes essenciais para a prática de ciência (MORRISSON; MORGAN, 1999).

Atualmente, estão se abrindo novos caminhos dentro do ensino de Química graças aos trabalhos relacionados a métodos como simulação e modelação em sala de aula. A Química que se aprende tem como modelos fenômenos do mundo, os quais têm importância social e significado para os alunos, e que podem ser compreendidos por meio de regras básicas. (IZQUIERDO, 2007). Os modelos científicos, com frequência, são complexos ou expressos por meio de representações complexas, como, por exemplo, equações matemáticas. Devido a isso, o que é visto em sala de aula são modelos simplificados dos modelos científicos originais, denominados de modelos curriculares ou escolares. Os modelos mais comuns utilizados no ensino de Ciências são maquetes, desenhos, simulações e analogias. Cada modelo deve ter seu uso específico, pois cada um apresenta vantagens e desvantagens dentro do ensino de Ciências. Os modelos ajudam os estudantes a aprender os modelos curriculares e os modelos científicos. (*Ibid*).

A uso do método de modelação em Ciências pode favorecer o modelo de ensino demonstrado por Hodson (2003), no qual o objetivo é tornar o estudante capaz de:

- aprender ciência e tecnologia: compreender conhecimentos teóricos e tecnológicos;
- aprender sobre ciência e tecnologia: compreender a natureza da ciência e da tecnologia;
- fazer ciência e tecnologia: realizar investigações e resolver problemas científicos;

- envolver-se em ações sociopolíticas: ter ações coerentes em relações a situações de interesse coletivos, econômicos, ambientais e sociais, valorizando seu papel na sociedade.

Partindo dos estudos de modelos mentais e modelação no ensino de Química apresentados nesta sessão, considera-se que o processo de construção de um modelo mental apresenta características semelhantes com a teoria de representações mentais de Peirce (2005). Entretanto, os estudos apresentados descrevem um modelo mental como uma ferramenta de simulação de conhecimentos, havendo a possibilidade de concretização desse modelo, por meio de diversos caminhos, como maquetes, desenhos, analogias e outros. Enquanto a representação mental é caracterizada como uma significação de conceitos, uma compreensão, um modelo mental pode transcender o campo do pensamento, sendo expresso no mundo real.

3.4 Obstáculos Epistemológicos

Os obstáculos epistemológicos foram estudados com maior destaque por Gastón Bachelard (1996), durante seus trabalhos sobre epistemologia científica. Tais obstáculos são imanentes aos processos de ensino e de aprendizagem, podendo-se defini-los como uma acomodação a um novo conhecimento. Recursos de ensino, que visam a melhorar o processo de aprendizagem, como analogias, metáforas, modelos e imagens, podem ser possíveis fontes para esses obstáculos (GOMES; OLIVEIRA, 2007). A compreensão de informações equivocadas, provenientes de vivências empíricas ou escolares resulta em construções de obstáculos epistemológicos (BACHELARD, 1996).

Para Gomes e Oliveira (2007), o uso de metáforas, analogias e imagens como ferramenta para melhorar o processo de aprendizagem dos estudantes, geralmente, não tem o objetivo alcançado, principalmente, se esses recursos não forem adequadamente elaborados e usados pelo professor. Essa estratégia atua como um substituto de uma linha complexa de pensamento, funcionando muitas vezes como um mero esquema. Esse fato implica uma dificuldade para o estudante desenvolver uma linha de pensamento coerente, desenvolvendo um obstáculo epistemológico. Bachelard não é radicalmente

contra ao uso de metáforas e analogias em atividades escolares, no entanto, as mesmas devem ser bem elaboradas e vir após a abordagem teórica do conhecimento, o que caracterizaria, nos dias atuais, uma aula transmissiva sucedida por ilustrações. Essas estratégias podem funcionar como ferramentas, mas o seu uso pode prejudicar o processo de abstração pelos estudantes.

Lopes (1992) afirma que os professores recorrem a metáforas ou analogias com o intuito de aperfeiçoar a compreensão de conceitos das ciências naturais ou científicos, mas se inadequadamente usados, podem prejudicar tanto o processo de ensino quanto o de aprendizagem. Para a autora, o melhor seria fazer com que essas estratégias fossem gradativamente perdendo a importância para os estudantes e que o conhecimento teórico fosse sendo mais bem construído. O uso dessas ferramentas sem o devido cuidado impede ou dificulta a compreensão de uma representação mais próxima da teoria científica, resultando em um conhecimento equivocado.

O processo de generalização também é considerado por Bachelard como uma fonte de obstáculos epistemológicos. Para o autor, a generalização consegue facilitar durante um tempo o entendimento de fenômenos possíveis de estudo, mas pode desmotivar o estudante a buscar e pesquisar de modo mais aprofundado os conceitos envolvidos. Uma regra geral pode satisfazer o estudante, mas diversas vezes, uma generalização incoerente transforma diversos conhecimentos em possíveis saberes vagos (COSTA, 1998).

Para Bachelard (1996), os principais objetivos dos professores deveriam ser modificar a cultura cotidiana prévia, porque é impossível adicionar conhecimentos nunca vistos em uma rede de conclusões já fechadas. O processo de ensino e aprendizagem teria melhores resultados a partir do momento em que o professor conseguisse estimular os estudantes a evoluir no estudo de um conhecimento científico, substituindo os conhecimentos imutáveis por novos abertos.

Bachelard (1996) desenvolve seu estudo sobre obstáculos epistemológicos partindo da existência de uma classificação em cinco grupos diferentes, que são: **obstáculo primeiro**, **obstáculo realista**, **obstáculo substancialista**, **obstáculo animista** e **obstáculo verbal**.

Segundo Leite e colaboradores (2006), o **obstáculo primeiro** está vinculado com experiências dos estudantes e interpretações fechadas em relação a conhecimentos científicos. Pode-se considerar o conhecimento de senso comum como um exemplo desse obstáculo, no qual o sujeito apresenta certa rejeição ao conhecimento científico, pois pode entender que o conhecimento popular o satisfaz em relação ao fenômeno estudado. Para Bachelard (1996), o conhecimento científico é desenvolvido quando é posto em confronto com o conhecimento prévio do sujeito, realizando um processo de passagem de um conhecimento para o outro. No decorrer desse processo, o conhecimento científico causa uma instabilidade no conhecimento prévio do sujeito. Esse processo não é algo instantâneo, em que os conceitos vão ganhando cada vez mais caráter complexo e vão perdendo a característica de naturalidade, ou seja, isso ocorre quando, por exemplo, um estudante depara com fenômenos que envolvem conceitos que necessitam de definições mais complexas, em que o senso comum não consegue ser fonte de explicação. O obstáculo primeiro também pode se apresentar em momentos de aula prática em laboratório, uma vez que o experimento ou o processo experimental realizado se torna mais importante para o sujeito, mais que a teoria vista naquele momento. O experimento ganha papel central na concepção do conhecimento, não dando importância à explicação científica. Bachelard (1996) descreve uma possível solução neste caso, que a denominou de “trazer a bancada para o quadro negro”, como uma possível forma de impedir o obstáculo epistemológico.

Podemos caracterizar o **obstáculo realista** como o modo de compreender conceitos científicos sem o processo de abstração, sendo usadas apenas analogias concretas. (MELZER *et al.*, 2009). Quando este obstáculo está presente, o sujeito se restringe a observar qualquer fenômeno, apenas com uma visão macroscópica, não conseguindo aperfeiçoar uma observação microscópica dos conceitos científicos. Isso pode ser atribuído a um possível pouco desenvolvimento racional do sujeito, uma supervalorização das experiências visuais e não interesse em aprofundar o conhecimento científico. Segundo Bachelard, pode-se considerar o obstáculo realista como uma concepção errata da realidade, pouco complexa, que pode orientar o senso comum, levando à constituição de uma ciência superficial. (LOPES, 1992).

Como afirma Bachelard (1996, p. 45), “uma vez entregue ao reino das imagens contraditórias, a fantasia reúne com facilidade tudo o que há de espantoso, fazendo convergir as possibilidades mais inesperadas”. Diversos materiais didáticos apresentam esquemas e imagens que podem contribuir como uma fonte de um obstáculo realista como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Imagem que mostra obstáculo epistemológico realista



Fonte: Imagem extraída de Hartwing (1999, p. 55).

Ao analisar-se a Figura 2, pode-se encontrar o obstáculo realista na representação de um átomo de tamanho macroscópico, podendo ser mantido entre os dedos de um ser humano. Outra interpretação possível é a que podemos “abrir” ou “destruir” um átomo com o auxílio de uma ferramenta, no caso, uma furadeira.

O **obstáculo substancialista** pode ser caracterizado como uma atribuição de características aos fenômenos estudados, mas que não condizem com as mesmas. Professores e materiais didáticos costumam atribuir características mais simples, que não precisem de um maior nível de abstração, para melhor apresentar os fenômenos (MELZER *et al.*, 2009). Bachelard (1996) define tal obstáculo como um ato de usar variáveis externas ao fenômeno com o objetivo de melhor defini-lo, mas causa ideias errôneas. Lopes (1992) afirma que podemos observar este obstáculo quando a explicação correta é substituída por uma alternativa que abusa de elementos substanciais. Uma situação em que Bachelard pesquisou foi o modelo de substância fechada, tendo os mesmos aspectos de uma caixa que pode ser manuseada como tal. Logo, uma substância pode ser aberta, fechada, virada

do avesso, características inconsistentes com as definições vigentes do conceito substância.

Obstáculos animistas são aqueles presentes quando são atribuídas características de seres vivos em matérias inanimadas. Bachelard (2006) afirma que obstáculo animista é definido quando damos importância demasiada para características próprias de seres vivos, como dos seres humanos, elevando seu valor na hierarquia fenomenológica, fazendo que seu limite de vigência seja sobreposto a de outros conhecimentos. Lopes utiliza um exemplo vinculado ao estudo de Química, no qual um obstáculo animista está presente: “Considere-se, por exemplo, a combustão do magnésio: como se sabe, ela somente se realiza quando aquecido o metal. O aquecimento, neste caso, desperta a afinidade do magnésio para o oxigênio que, a frio, não se manifesta.” (LOPES, 2009, p. 258).

Nesse exemplo, despertar a afinidade do magnésio com a utilização de calor, que dará o início da reação com oxigênio é atribuída uma característica anímica ao elemento químico, como se ele precisasse do calor para despertar a afinidade. Obstáculos animistas não somente podem constar em material de linguagem escrita, nem também em recursos imagéticos, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Ilustração de situação de obstáculo epistemológico animista



Fonte: Imagem extraída de Hartwing (1999, p. 76).

A interpretação da Figura 3 transmite diversas impressões que podem resultar em um conhecimento equivocado do conceito de átomo. A imagem representa os átomos como seres animados que possuem a capacidade de

comunicação por linguagem oral (capacidade dos seres humanos) e possuem a capacidade de segurarem objetos macroscópicos, como malas, no exemplo. Ao fazer uma análise mais complexa, percebe-se também a presença do obstáculo realista, pois as escalas reais dos componentes que constituem a representação não são coerentes com a realidade (LEITE; SILVEIRA; DIAS, 2006).

O **obstáculo verbal** ocorre quando não é respeitada a linguagem científica, recorrendo à linguagem de senso comum para explicar os fenômenos que desejam ser estudados. Os recursos mais utilizados que causam esses obstáculos são metáforas e analogias, que buscam “facilitar” o processo de compreensão dos fenômenos por parte dos estudantes. Esse obstáculo pode prejudicar um entendimento correto do que está sendo estudado e contribuir para uma concepção equivocada que pode vir a se tornar um **obstáculo de experiência primeira** no futuro (STADLER *et al.*, 2012). Melzer (2008) utiliza um exemplo químico para exemplificar outra situação possível de ocorrer obstáculo verbal. O autor utiliza o experimento por meio do qual Rutherford buscou comprovar a presença de uma eletrosfera na estrutura atômica, considerando que uma “metralhadora” teria disparado radiações alfa sobre uma placa de ouro. Essa linguagem não permite a compreensão correta do procedimento experimental realizado por Rutherford, pois a “metralhadora” está substituindo a compartimento com polônio que irradia as partículas alfa, e transmite a ideia errada que a placa de ouro retém toda a radiação imanada, indo contra ao verdadeiro resultado do experimento.

Nesta pesquisa, o conhecimento sobre obstáculos epistemológicos contribuiu para identificá-los em livros didáticos de Química com vistas a compreender de que maneira tais impedimentos podem prejudicar os aprendizados dos conceitos presentes.

3.5 Livro Didático como recurso pedagógico

O avanço das tecnologias na área da educação foi considerável nos últimos anos, entretanto, o livro didático se mantém como principal ferramenta pedagógica na Educação Básica. Conforme Santomé (1998), para diversos estudantes, o livro é o principal elo com as disciplinas escolares,

principalmente, Química, Física e Matemática. O autor ainda complementa que diversos casos de fracassos escolares podem ser atribuídos ao uso mal planejado dos livros didáticos, uma vez que a percepção dos estudantes pode ser distorcida ao imaginar esse recurso como um manual de conceitos científicos indecifráveis.

O avanço nas abordagens em livros didáticos é algo pouco efetivo, pois há dificuldade em romper com o tradicional, considerando que alterações mais importantes em relação ao material didático foi o modo com que os conteúdos estão organizados em sequência, não havendo mudanças significativas na sua apresentação. Essa situação implica em uma desatualização contínua nas informações, podendo haver uma simplificação para compensar essa deficiência. (MORTIMER, 1988).

Convergindo com o pensamento de Mortimer (1988), Lopes (1993) realizou uma pesquisa, na qual analisou as características das abordagens dos conteúdos presentes nos livros didáticos de Química. Para realizar essa pesquisa, a autora buscou os estudos de obstáculos epistemológicos de Bachelard (1996, p. 260) para fundamentar a análise, chegando à seguinte conclusão:

O apelo às imagens fáceis, capazes de permitir ao aluno associação imediata com ideias que lhe são familiares, mostra-se então como caminho preferido dos livros didáticos. Não há problematização dos conceitos, nem tampouco o desenvolvimento do raciocínio dos alunos. Mais uma vez o objeto alcançado é a consolidação do senso comum.

Por meio dos fundamentos apresentados, o livro didático é uma ferramenta pedagógica importante para o desenvolvimento das aulas de Química na sala de aula do presente tempo, mesmo havendo diversos novos recursos mais interativos e tecnológicos. Essa importância justifica a escolha de realizar esta pesquisa em torno dos livros didáticos, visando a compreender e identificar possíveis obstáculos epistemológicos presentes e interpretar se a linguagem favorece a construção de representações mentais adequadas ou prejudicam este processo.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

No presente capítulo, após a apresentação da abordagem de pesquisa, são explicitados o contexto, os objetos de pesquisa, os instrumentos, a organização e os procedimentos metodológicos realizados nesta pesquisa.

4.1 Abordagem de pesquisa

A pesquisa proposta terá natureza qualitativa, abordagem reconhecida entre as diversas formas de pesquisar fenômenos na área de ciências humanas (FLICK, 2009). Nessa abordagem, leva-se em consideração que um fenômeno pode ser mais bem compreendido em seu meio original. A abordagem qualitativa busca a compreensão do fenômeno estudado, considerando a visão de todos os participantes envolvidos. O objetivo central não é isolar e identificar um problema, mas sim compreendê-lo. Diversos são os meios de coleta de dados e de análise possíveis para chegar ao objetivo final da pesquisa, podendo percorrer diversos caminhos durante o processo de pesquisa. (BODGAN; BIKLEN, 1994).

Flick, Von Kardorff e Steinke (2000) isolaram quatro grupos de fundamentos teóricos que estão presentes em uma pesquisa qualitativa: a realidade social é compreendida como um reflexo da atribuição social de significados; o enfoque qualitativo ocorre no processo e na reflexão sobre o caso analisado; os princípios objetivos de vida perdem destaque por meio de subjetividades; a realidade permite que a reconstrução de um processo se torne o início da pesquisa.

Günther (2006), após realizar uma análise em publicações em relação a pesquisas com abordagem qualitativa, elaborou cinco grupos de características dessa abordagem: características gerais; coleta de dados; objeto de estudo; interpretação dos dados; generalização.

Em relação às características gerais, a compreensão deve ser considerada como o conceito mais importante ligado ao conhecimento, no qual é preferível pesquisar relações mais complexas sobre processos mais simples.

A pesquisa é considerada como uma construção do que é visto na realidade, um ato de construção subjetiva. (FLICK *et al*, 2000).

A abordagem qualitativa também pode ser conhecida como abordagem naturalístico-construtiva (MORAES, 2006), pois considera que a realidade é uma construção dos sujeitos, partindo da não possibilidade do acesso a construções concretas, mas busca interagir com a humanidade por meio de representações linguísticas e discursivas. Sobre isso, Moraes (2006, p. 14) afirma:

A abordagem naturalística-reconstrutiva pretende chegar à compreensão dos fenômenos e problemáticas que investiga examinando-os no próprio contexto em que ocorrem. Fundamentada numa epistemologia interativa construtiva pretende chegar ao conhecimento por aproximações gradativas baseadas na indução analítica. Um envolvimento intenso nos fenômenos ajuda a reunir informações sobre os objetos de pesquisa; essas submetidas a um processo de análise indutivo, possibilita a gradativa explicitação de categorias e de uma estrutura compreensiva dos fenômenos, resultando daí sua descrição sua descrição, interpretação e teorização.

Em relação à coleta de dados, a pesquisa qualitativa pode ser caracterizada por uma mistura de métodos e estratégias de pesquisa, que devem se enquadrar ao problema de pesquisa, jamais buscando um método unitário. Em relação ao objeto de estudo, o ponto inicial de uma pesquisa qualitativa é o problema de pesquisa, um questionamento. Neste caso, a visão do pesquisador não deve ser a única relevante, mas também a de todos os participantes da pesquisa. O objeto deve ser compreendido dentro de sua natureza, não isolado para ser realizada uma análise, de modo a ter uma visão do problema de pesquisa em sua totalidade natural.

Em relação à interpretação dos resultados, o pesquisador inserido em uma pesquisa dessa natureza, dificilmente, não demonstra interesse de compreensão sobre relações complexas, pois acredita que o melhor meio de alcançar alguma compreensão é o entendimento entre diversas relações entre variáveis.

Segundo Stake (2011), as pesquisas qualitativas também são métodos que propiciam possíveis generalizações, uma vez que o ser humano muitas vezes tende a generalizar e extrapolar dados a partir de situações isoladas. Essa característica pode ser atribuída graças à busca de ressignificações

constantes por parte dos seres humanos, a partir de novos dados e conclusões. Para House e Howe (1999), as generalizações são ofertas de contraposições para as convenções, podendo gerar reflexões nos campos de estudos das ciências sociais, como as pesquisas do ensino de Ciências da Natureza.

4.2 Contexto da pesquisa

Mesmo com o avanço da tecnologia no meio dos recursos pedagógicos, o uso do livro didático continua sendo o principal apoio para estudantes e alunos nas escolas de Educação Básica no Brasil (SANTOMÉ, 1998). Esse panorama justifica a escolha dos livros didáticos como objetos e contexto de pesquisa para este trabalho, pois esse recurso pode ser o único recurso disponível para complementar os estudos mediados pelo professor.

No decorrer das décadas, foi comum os livros didáticos do componente Química adquirirem características excessivamente teóricas, enfocando em definições pouco contextualizadas dos conhecimentos químicos.

De acordo com Schnetzler (1981), os livros didáticos perderam caráter investigativo no passar dos anos, não proporcionando, aos estudantes, possibilidades de compreender os conhecimentos além de um limite teórico, não permitindo uma aprendizagem vinculada aos contextos cotidianos.

O apelo por uma abordagem teórica e pouco contextualizada, unido com a grande relevância do livro didático como recurso pedagógico, justifica a escolha desses materiais como ambiente de investigação para compreender as questões de pesquisa presentes nesta pesquisa.

4.3 Objetos de pesquisa

Foram selecionados para essa investigação, como objetos de pesquisa, os livros didáticos de Química aprovados no último PNLD, no ano de 2015 (BRASIL, 2014). As coleções são constituídas por três volumes, um volume para cada nível do ensino médio. Os capítulos selecionados para análise foram os seguintes: *Reações Químicas* (1º ano), *Velocidade das Reações* (2º ano) e *Função Álcool* (3º ano). Esses capítulos foram escolhidos devido à sua

valorização pelos professores de Química da Educação Básica, uma vez que são conteúdos que exigem capacidade de abstração elevada e são conhecimentos fundamentais para o nível escolar pertencente, sendo requisitos para demais conhecimentos químicos. Para organização, as coleções estão presentes no Quadro 1.

Quadro 1 – Referências das coleções de livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2015.

Obra	Referência
A	MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andréa Horta. Química . São Paulo: Scipione, 2013.
B	FONSECA, Martha Reis Marques da. Química . São Paulo: Ática, 2013.
C	MÓL, Gerson de Souza; SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Química Cidadã . São Paulo: AJS, 2013
D	ANTUNES, Murilo Tissoni (Org.). Ser Protagonista – Química . São Paulo: SM, 2013.

Fonte: Organizado pelo autor.

4.4 Instrumentos de pesquisa

Para a realização desta análise, alguns instrumentos foram necessários para propiciar todas as etapas propostas. Entre esses instrumentos, e suas funções, podem-se elencar os seguintes:

Computador: digitação e organização da dissertação;

Coleções de livros de Química aprovadas no PNLD 2015: fonte dos textos analisados;

Máquina de impressão: imprimir cópias de artigos de fundamentação teórica ou materiais da dissertação.

4.5 Organização e procedimentos metodológicos da pesquisa

Para a realização desta pesquisa, foi organizado um cronograma para as diferentes análises realizadas, tendo como objetivo responder todas as questões de pesquisa propostas. Esse planejamento pode ser verificado no Quadro 2.

Quadro 2 – Organização das etapas de análise

Análise	Ordem das obras	Procedimento de Análise
Abordagens do conhecimento químico, representações mentais e obstáculos epistemológicos em textos sobre <i>Reações Químicas</i>	1° Obra A 2° Obra B 3° Obra C 4° Obra D	-Análise as abordagens do conhecimento químico e representações mentais por meio de comparações entre os pressupostos teóricos e a linguagem presente nos capítulos analisados. - Compreensão dos obstáculos epistemológicos por meio de uma tabela para favorecer sua identificação e categorização
Abordagens do conhecimento químico, representações mentais e obstáculos epistemológicos em textos sobre <i>Cinética Química</i>	1° Obra A 2° Obra C 3° Obra B 4° Obra D	
Abordagens do conhecimento químico, representações mentais e obstáculos epistemológicos em textos sobre <i>Função Álcool</i> .	1° Obra A 2° Obra B 3° Obra C 4° Obra D	

Fonte: Organizado pelo autor.

4.6 Descrição dos procedimentos de análise dos dados

Neste tópico é apresentada a descrição dos procedimentos de análise realizados nesta pesquisa, referentes às abordagens do conhecimento químico, representações mentais e obstáculos epistemológicos nos capítulos escolhidos para a investigação.

4.6.1 Procedimento de análise das abordagens do conhecimento químico

Compreender se um material didático apresenta características convergentes com a teoria de Johnstone (1993) e com os pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000) sobre as abordagens do conhecimento químico depende das propriedades da linguagem presentes na redação dos seus textos.

Como fundamento para esta análise, foi usado os pressupostos do mesmo autor como fundamento norteador, tendo como base as definições das três abordagens e suas características mais relevantes.

Para identificar se as propriedades dos textos convergem com as definições das abordagens, foi elaborado um pequeno quadro (Quadro 3) explicitando o que seria elencado com características favoráveis em relação à teoria escolhida.

Quadro 3 – Propriedades convergentes com os pressupostos de Mortimer (2000)

Abordagem do conhecimento químico	Propriedades adequadas
Fenomenológica	Vínculos dos conceitos ou modelos teóricos com fenômenos macroscópicos por meio de contextos de fácil compreensão ou sugestões de experimentações; Discussões sobre a relevância do conhecimento químico inserido na sociedade contemporânea.
Teórica	Descrição dos conceitos teóricos da Química por meio de definições de fácil compreensão dos estudantes da Educação Básica.
Representacional	Uso de recursos simbólicos, gráficos e imagéticos para facilitar a representação de fenômenos microscópicos; Uso dos presentes recursos como elo de mediação entre as abordagens fenomenológica e teórica.

Fonte: Organizado pelo autor.

Em situações que características não semelhantes às descritas forem identificadas, essas são compreendidas como propriedades divergentes aos pressupostos de Mortimer (2000) sobre as abordagens do conhecimento químico.

4.6.2 Procedimento de análise das representações mentais

Para compreender se um material didático pode ser um recurso adequado para propiciar, aos estudantes, um processo de representação

mental coerente com os fenômenos estudados, é necessário que a linguagem presente nos textos tenha características convergentes com as três etapas propostas por Peirce (1976) como fundamentais para sua formação.

Como fundamento desta análise, é usada a teoria semiótica de Peirce (1976), no qual a construção de uma representação mental depende de três etapas subsequentes, denominadas *primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade*. Cada etapa possui características próprias para sua realização, sendo uma pré-requisito da próxima.

Como é o sujeito que realiza a ação de formar a representação de um fenômeno externo a sua mente, compreende-se que os livros didáticos são recursos que podem facilitar este processo, não como protagonistas desse processo mental.

Para a realização da análise, foram propostas algumas características desejáveis, de possível presença nos textos, que podem ser recursos importantes para a realização de cada etapa para a formação da representação, por meio de linguagens escritas ou imagéticas. Essas características estão presentes no Quadro 4.

Quadro 4 – Características favoráveis à formação de representações mentais

Etapas de formação de representações mentais	Características favoráveis
<i>Primeiridade</i>	Contextualizações simples para iniciar as discussões de conceitos químicos; Definições de fácil compreensão dos conceitos; Linguagem adequada a estudantes da educação básica.
<i>Secundidade</i>	Desenvolvimento teórico dos conhecimentos por meio de vínculos com conceitos discutidos em capítulos anteriores da obra; Inserir linguagem mais científica no decorrer do texto; Abordagem com caráter mais teórico após introdução do conceito.
<i>Terceiridade</i>	Realização de conclusões das discussões dos conhecimentos abordados, reunindo os principais tópicos nesse fechamento. Uso de recursos simbólicos, imagéticos ou gráficos para sintetizar o conhecimento apresentado.

Fonte: Organizado pelo autor.

No decorrer da análise, se as características descritas não estiverem presentes nas obras, ou apresentarem fragilidades, é considerado que há deficiências desses textos na ação de possibilitar recursos para os estudantes formarem representações mentais adequadas à teoria estudada.

4.6.3 Procedimento de análise dos obstáculos epistemológicos

A presença de obstáculos epistemológicos, fundamentados em Bachelard (1996) é considerada nesta análise como impedimentos de possível presença nos livros didáticos que podem dificultar o processo de aprendizagem, por parte dos estudantes, dos conhecimentos químicos presentes nesses materiais.

Nesta etapa da análise, estes obstáculos, quando encontrados, foram categorizados tendo como fundamentos as diferentes naturezas que esses impedimentos podem apresentar, denominados obstáculos *verbal*, *primeiro*, *realista*, *animismo* e *substancialismo*.

Para esta categorização, foram elaboradas fichas (apêndice A) com o intuito de facilitar a análise, no qual estariam presentes a identificação do obstáculo e sua referente classificação. É importante destacar a finalidade dessa análise, que é compreender as fragilidades que esses obstáculos podem gerar para a aprendizagem dos estudantes, não sugerir alternativas para sanar tais impedimentos.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as análises realizadas das obras selecionadas sobre os temas de *Reações Químicas*, *Cinética Química* e *Função Álcool*. Com o objetivo de construir respostas às questões de pesquisa, o capítulo está organizado em três seções: análise de capítulos de livros em relação às *Reações Químicas*; análise de capítulos de livros em relação à *Cinética Química*; análise de capítulos de livros em relação à *Função Álcool*.

A análise dos capítulos das obras selecionadas tem foco nas abordagens do conhecimento químico e na redação dos textos, relacionada às representações mentais e aos obstáculos epistemológicos identificados.

5.1 Análise de capítulos dos livros em relação às *Reações Químicas*

As abordagens em relação aos conhecimentos relacionados ao tema *Reações Químicas* apresentam diferenças significativas nas obras analisadas, variando entre linguagem direta, superficial e simplista às organizações com articulações e raciocínio mais complexos e contextualizados. Esse conhecimento é não contemplado com capítulos próprios em todas as obras, sendo relacionados geralmente aos conceitos de Ligações Químicas e Tabela Periódica.

De modo a organizar a análise, com objetivo de construir respostas ao problema de pesquisa, o texto está organizado em três tópicos: abordagens do conhecimento químicos em textos sobre *Reações Químicas*; escrita dos textos sobre *Reações Químicas* relacionada às representações mentais; e análise de obstáculos epistemológicos em capítulos de *Reações Químicas*.

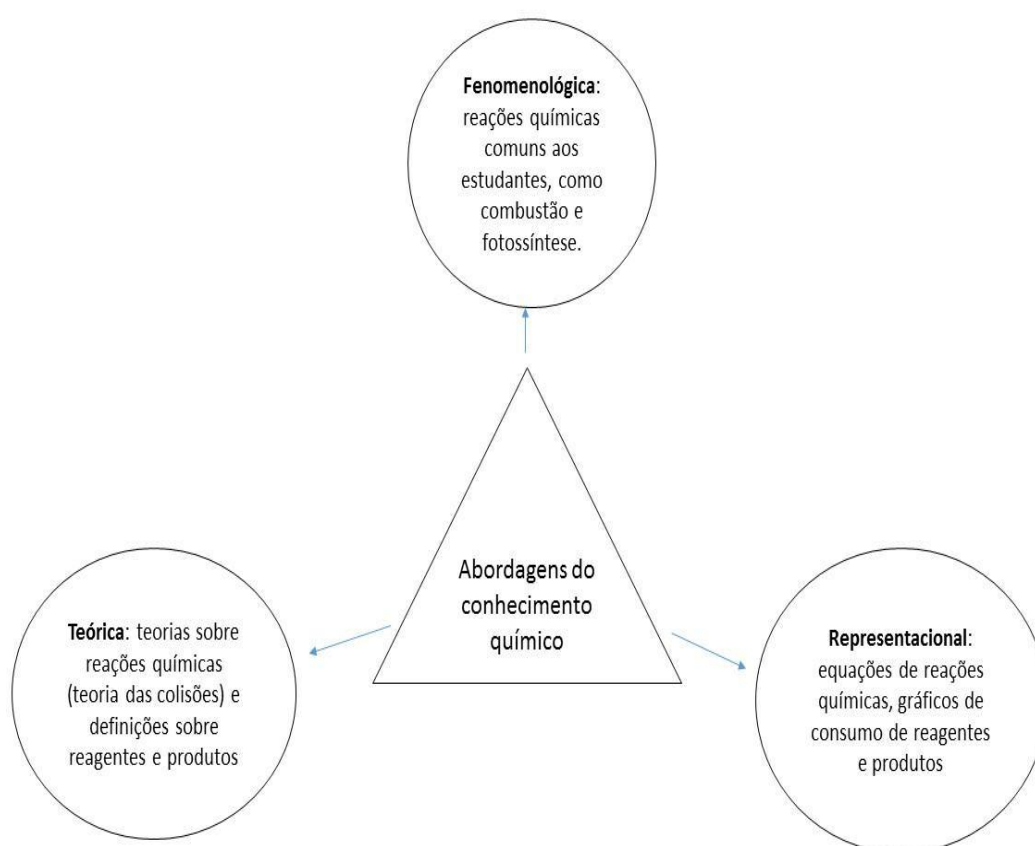
5.1.1 Abordagens do conhecimento químico em textos sobre *Reações Químicas*

A partir da teoria de Johnstone (1993), complementada pelos pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), nesta etapa da análise foi investigada a presença de propriedades nos textos dos livros de

Química do PNLD de 2015, sobre *Reações Químicas*, que possam ser relacionadas com as abordagens do conhecimento químico, categorizadas como fenomenológica (macroscópica), teórica (microscópica) e representacional (simbólica).

Ao relacionar os principais conceitos imersos nos conhecimentos sobre *Reações Químicas* com os elementos do conhecimento químico propostos por Johnstone (1993) e os pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), é aceito que a presença das três abordagens pode propiciar um melhor aprendizado aos estudantes da Educação Básica. Alguns exemplos de possibilidades das abordagens são apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Abordagens dos conhecimentos das Reações Químicas



Fonte: Adaptado por integração de Johnstone (1993) com Mortimer, Machado e Romanelli (2000).

Após a análise dos textos que abordam os conhecimentos sobre *Reações Químicas* dos livros de Química aprovado no PNLD de 2015, foram

observadas diferenças importantes entre as obras em relação às abordagens do conhecimento químico.

A obra **A**, possui uma redação convergente com os pressupostos norteadores dessa análise, de modo que todas as abordagens são apresentadas na obra em termos de definições dos conceitos presentes nos textos, por meio de uma linguagem complexa, mas adequada à linguagem dos estudantes da Educação Básica.

As demais obras apresentadas também apresentam características convergentes com a teoria de Johnstone (1993) e com os pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), todavia não apresentam uma linguagem tão elaborada quanto à da obra **A**, havendo situações em que são apresentados textos de caráter reducionista para definir os conceitos relacionados aos conhecimentos sobre *Reações Químicas*.

O primeiro capítulo analisado nesta etapa da pesquisa foi o representante da obra **A**, intitulado “Introdução às transformações químicas” (MORTIMER; MACHADO, 2013, p. 224). Esse capítulo apresenta uma linguagem complexa que visa constantemente a relacionar os conceitos presentes com suas abordagens macroscópicas e microscópicas, demonstrando ao leitor diversas formas de compreender um mesmo fenômeno.

Com relação às abordagens do conhecimento químico, os textos apresentam todas, de modo constante e harmonioso. A abordagem fenomenológica (macroscópica) tem a função de introduzir os conceitos a serem estudados, por meio de contextualizações comuns aos estudantes.

A abordagem teórica (microscópica) está presente, geralmente, na sequência da abordagem fenomenológica, tendo função de aprofundar os conhecimentos introduzidos, apresentando as teorias e conjecturas que definem os fenômenos de modo microscópico.

O uso de imagens, símbolos e esquemas no decorrer das duas abordagens citadas até o momento, de modo a relacioná-las, caracteriza a última abordagem: a representacional (simbólica). Uma característica relevante é a função dessa abordagem na construção dos textos, em que o uso de recursos simbólicos funciona como elo entre as abordagens fenomenológica e teórica, não constando como ferramenta para justificar o que essas abordagens estão definindo ou sugerindo.

Como exemplo do que está sendo apresentado, na página 234 da presente obra, é introduzido um texto que discute os diversos elementos que uma transformação na matéria pode apresentar, sendo uma reação química ou não. O texto dialoga com o leitor por meio de exemplos cotidianos, como leite coagulado e o gelo ao derreter, e conclui com uma definição simples do que seria a definição do conceito *Reação Química*. O texto é apresentado na figura 5.

Figura 5 – Introdução do conceito de reação química na obra A

Esses tipos de evidências são formas simples e diretas de reconhecimento de reações químicas e podem envolver um ou mais dos seguintes fenômenos: **a formação de gases, a mudança de cor, a formação de sólido, a liberação ou absorção de energia na forma de calor, a liberação de eletricidade ou luz, etc.**

Não podemos ter certeza, no entanto, de que ocorreu uma reação química com base apenas nessas evidências. Uma forma mais segura de obter informações sobre a natureza de uma transformação é o isolamento dos materiais obtidos, seguido da determinação de algumas de suas propriedades, como as temperaturas de fusão e de ebulição, a densidade, etc.

A constatação de que essas propriedades são diferentes daquelas dos componentes do sistema inicial é uma forma mais segura de comprovar a ocorrência de reações químicas. Na prática, esse último procedimento só é usado quando trabalhamos com reações desconhecidas, para as quais não se tem certeza da natureza dos produtos. O conhecimento das evidências de reações químicas é uma ferramenta empírica poderosa que ajuda os químicos a ganhar tempo na caracterização das transformações.

A dissolução de açúcar em água e as mudanças de fase da água são exemplos de fenômenos em que ocorrem transformações do estado físico no qual o material se encontra. Uma característica comum a esses dois fenômenos é que não há produção de novos materiais. Além disso, é possível obter novamente o material no seu estado inicial. Ou seja, é possível obter a água no estado líquido pelo resfriamento do vapor e obter o açúcar no estado sólido pela evaporação do solvente.

A outra classe de fenômenos que observamos são as reações químicas. Nesse caso, há formação de novos materiais. Quando as reações são irreversíveis, a exemplo das que foram estudadas, não é possível obter novamente os materiais iniciais. Em reações reversíveis, isso é possível.

Concluindo, as reações químicas são geralmente acompanhadas de transformações físicas, que permitem evidenciar sua ocorrência. O que podemos reconhecer são as transformações físicas, pois não há uma evidência direta de que o fenômeno ocorrido caracterize uma reação química. É o nosso conhecimento empírico acumulado que permite identificar, por meio dessas transformações físicas, os casos em que há produção de novos materiais e, portanto, reações químicas.

Figura 7.14
Numa transformação de estado físico não há formação de novo material.



Figura 7.13
O aparecimento de coágulos no leite é uma evidência de que ocorreu uma transformação.

No texto apresentado na Figura 5, é possível identificar que os autores pretendem iniciar uma discussão sobre *Reações Químicas* por meio de uma abordagem fenomenológica, usando diversos exemplos simples, e da articulação entre esses fenômenos e conceitos de natureza teórica (abordagem teórica), de modo a construir uma relação entre os dois modos de compreender o mesmo fenômeno. O conceito de transformações físicas também pode contribuir para a compressão das características principais para identificar se uma transformação química realmente ocorreu. O uso das imagens que representam uma transformação química (coagulação do leite) e uma transformação física (liquefação do gelo) caracteriza a abordagem representacional, de modo discreto neste exemplo, mas é importante para a abstração dos conceitos por parte dos estudantes.

De modo geral, os textos da obra **A** convergem satisfatoriamente com a teoria de Johnstone (1993) e com os pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), apresentando todas as abordagens no capítulo analisado. Essa propriedade propicia que os textos tenham uma linguagem complexa e de fácil compreensão por parte dos estudantes da Educação Básica, graças a relações simples da teoria a ser aprendida com fenômenos comuns do cotidiano.

A obra **B** apresenta os conhecimentos relacionados a *Reações Químicas*, no volume 1, no capítulo intitulado “*Reações Químicas*” (REIS, 2013, p. 82). Os textos presentes nesse capítulo apresentam uma linguagem adequada junto ao objetivo de discutir os conceitos envolvidos aos conhecimentos sobre *Reações Químicas*, mas com menos complexidade, se compararmos com a obra **A**. Com relação às abordagens do conhecimento químico, os textos apresentam propriedades positivas, havendo características convergentes entre todas elas.

Com relação à *abordagem fenomenológica*, é evidente a preocupação dos autores em inserir situações comuns do dia-dia para relacionar a teoria com fenômenos macroscópicos. O uso de exemplificações de baixa complexidade e sugestões de experimentações é constante durante o capítulo.

A *abordagem teórica* possui duas características importantes com relação ao seu papel nos textos. A inserção de conceitos microscópicos dos fenômenos estudados pode ter a função de introduzir uma discussão dos

conhecimentos (tendo a abordagem fenomenológica uma função subsequente à teoria) ou, assim como na obra **A**, ser uma participante de um processo de diálogo entre inserções macroscópicas e microscópicas do mesmo fenômeno.

A *abordagem representacional* tem presença constante na linguagem utilizada pelos autores, com a função de complementar as *abordagens fenomenológica e teórica*. Como exemplo do modo com que as abordagens podem estar presentes nos textos do capítulo da obra **B**, há um fragmento contendo o texto que discute o experimento realizado por Lavoisier (químico francês renomado pelas suas contribuições à ciência moderna), no qual comprova a *Lei da Conservação das Massas* e o que ocorre com a matéria após uma reação química. Esse fragmento é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Introdução de reação química e lei de conservação de massa na obra B

Aos 22 anos, Lavoisier recebeu uma medalha de ouro da Academia de Ciências por seu projeto para a iluminação das ruas de Paris, e com 25 anos se tornou membro da Academia Real de Ciências de Paris.

Aos 26 anos casou-se com Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836), quando ela tinha apenas 13 anos, e supervisionou pessoalmente a educação da mulher para que ela pudesse auxiliá-lo em seus trabalhos. Em 1789, ele lançou seu *Tratado Elementar de Química*, considerado o marco do nascimento da Química no ocidente.

Nesse mesmo ano teve início a Revolução Francesa, e Lavoisier foi acusado de peculato, considerado “inimigo do povo” e preso. Os cientistas de toda a Europa, temendo pela vida de Lavoisier, enviaram uma petição aos juizes para que o poupassem em respeito a seu valor científico. Coffinhal, presidente do tribunal, recusou o pedido com uma frase equivocada que se tornou famosa: “A França não precisa de cientistas”, e Lavoisier foi guilhotinado em 1794.

Ao matemático Joseph Louis Lagrange (1736-1813) atribui-se uma outra frase famosa: “Não bastará um século para produzir uma cabeça igual à que se fez cair num segundo”.

Reagentes: carbono grafita e oxigênio.
Massa = X g.

Produto: gás carbônico.
Massa = X g.

Lavoisier verificou experimentalmente que essa regularidade ocorria sem restrições. Exemplos:

carbono grafita	+	oxigênio	→	gás carbônico
3 g		8 g	=	11 g
mercúrio metálico	+	oxigênio	→	óxido de mercúrio
100,5 g		8,0 g	=	108,5 g
nitrogênio	+	oxigênio	→	monóxido de nitrogênio
7 g		8 g	=	15 g
água	→	hidrogênio	+	oxigênio
9 g	=	1 g	+	8 g

e a partir disso enunciou a **lei de conservação das massas**:

Em uma reação química feita em recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos.

▶ O que acontece quando uma substância reage? Ela some?

Conhece o ditado “Nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”? Podemos dizer que esse é um enunciado popular da lei de Lavoisier. Continuando as análises quantitativas de várias substâncias, por meio de reações de síntese e análise, Lavoisier chegou ainda a uma complementação fundamental da lei de conservação das massas. Nas reações químicas, não apenas a massa das substâncias envolvidas se conserva, mas também a massa dos elementos que constituem as substâncias permanece constante.

Isso significa que, nas reações químicas, os elementos não se transformam uns nos outros. Essa conclusão pôs fim, naquela época, às ideias dos alquimistas de transmutação dos metais.

Em relação às perguntas anteriores, podemos afirmar que a resposta é *sim*. A substância em si, ao reagir, acaba sumindo, mas os elementos que constituem essa substância não somem, eles se reorganizam para formar outra(s) substância(s). Por isso a massa total, antes e depois da reação química, permanece a mesma.

As ilustrações estão fora de escala. Cores fantasia.

No texto apresentado, o uso de um experimento simples (facilmente realizado em um laboratório escolar) mostra de modo macroscópico o princípio da Lei da ação das massas, proposta por Lavoisier, no qual a massa dos reagentes deve ser igual à massa dos produtos, em um processo isolado do meio externo à reação. O uso de exemplos de simples abstração pode propiciar aos estudantes uma capacidade maior de relacionar o conhecimento sobre a preservação das massas durante uma reação química com outros processos do cotidiano.

A *abordagem teórica* está presente de modo claro e conciso, relacionando os novos conceitos com outros já discutidos em textos anteriores, como conceitos de massa e substância. Assim, a linguagem para definir o fenômeno de conversão de reagente em produto é adequada e de fácil compreensão.

A *abordagem representacional* está presente no uso das equações químicas usadas para demonstrar a conservação das massas durante uma reação química e também no uso da figura que representa o experimento realizado por Lavoisier no século XVIII. Essa abordagem, assim como na obra **A**, possui a função de dialogar com as demais abordagens.

Em suma, os textos sobre *Reações Químicas* presentes na obra **B** convergem com a teoria de Jonhstone (1993) e com os pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), mesmo havendo uma linguagem menos sofisticada ao compararmos com os textos da obra **A**.

A obra **C** apresenta os conhecimentos relacionados a *Reações Químicas* no capítulo nomeado “Cálculos Químicos” (SANTOS; MÓL, 2013, p. 240), com melhores definições no subcapítulo “As Leis das *Reações Químicas*”. Em relação à linguagem, os textos dessa obra possuem propriedades semelhantes às obras **A** e **B**. Com relação às abordagens do conhecimento químico, há uma articulação adequada entre as três categorias formuladas a partir de Jonhstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000). No decorrer da escrita, os conceitos discutidos são geralmente vinculados a situações de fácil compreensão, tendo como apoio o uso de diversos recursos gráficos e imagéticos.

Ao referir à *abordagem fenomenológica*, é possível compreender que essa característica é constante nos textos, havendo uso de situações de fácil

reprodução por parte do professor e estudantes. É importante destacar que a opção por sugestões de experimentações por na organização do livro didático pode facilitar a compreensão dos estudantes referente à maior parte dos fenômenos estudados nessa etapa.

A *abordagem teórica* apresenta uma característica similar à obra **A**, na qual as definições dos conceitos, discutidos previamente de modo macroscópico (situação pouco frequente na obra **B**) tendem a ser um complemento da compreensão dos fenômenos, visando a uma aprendizagem com nível de abstração mais elevado.

O último tipo de abordagem, a representacional, deve ser destacado nos textos sobre *Reações Químicas* desta obra, devido ao cuidado com o uso de imagens e símbolos para facilitar a visualização dos fenômenos estudados. Praticamente todos os conceitos apresentados nos textos são apoiados por algum recurso simbólico, propiciando um diálogo mais claro entre as abordagens fenomenológica e teórica. Com relação às sugestões de experimentos, todas apresentam descrições imagéticas dos recursos de laboratório (vidrarias como exemplo) e dos fenômenos teoricamente esperados.

Para exemplificar as propriedades descritas, é apresentado na Figura 7, um trecho da obra que visa a discutir o princípio de conservação de matéria proposta por Lavoisier.

Assim como no exemplo usado para a obra **B**, o princípio demonstrado por Lavoisier é detalhado de modo claro, havendo objetivo de contextualizar o conhecimento de modo macroscópico, usando o exemplo da queima de um pequeno pedaço de esponja de aço. A *abordagem teórica* está presente para explicar microscopicamente o que ocorre com a esponja em escala molecular. O uso de imagens para demonstrar visualmente o fenômeno e o uso das equações químicas com relação às massas dos reagentes e produtos (*abordagem representacional*) representam o fenômeno discutido nas abordagens fenomenológica e teórica.

Em conclusão, a obra **C** converge com a teoria de Jonhstone (1993) e com os pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000) sobre as abordagens do conhecimento químico, havendo uma triangulação contínua

entre todas as abordagens e o uso de uma linguagem adequada ao nível dos estudantes da Educação Básica.

A obra **D** (ANTUNES, 2013) discute os conhecimentos relacionados às *Reações Químicas* no capítulo nomeado “Balanceamento de equações e tipos de *Reações Químicas*”. Nos textos analisados dessa obra, é nítido o objetivo do autor em especificar, de modo excessivo em certos casos, os principais conceitos sobre *Reações Químicas*.

Figura 7 – Estudo da Lei da Conservação das Massas da obra C

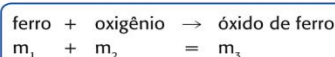
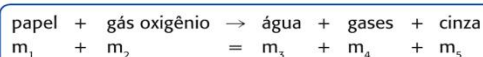
Esse enunciado, que se aplica a todas as reações químicas, ficou conhecido como Lei da Conservação das Massas ou Lei de Lavoisier, que pode ser resumida pela frase:

Na natureza nada se cria, nada se perde; tudo se transforma.

Na época em que a Lei de Lavoisier foi registrada, muitos químicos chegaram a duvidar de sua validade, pois haviam observado que na queima de algumas substâncias e materiais havia aumento da massa, enquanto na queima de outras havia diminuição. O grande mérito de Lavoisier foi ter descoberto que essas diferenças de massa se davam por causa da absorção ou liberação de gases durante as reações.

Na combustão do papel, por exemplo, a massa do sólido diminui porque são formados gases que passam para a atmosfera. Já na queima da palha de aço ocorre o inverso: há consumo do oxigênio do ar, o que produz uma substância composta de ferro e oxigênio. A massa da substância formada é, então, maior do que a massa da palha de aço. O mesmo acontece na formação da ferrugem – os átomos de ferro combinam-se com os de oxigênio.

Para compreender melhor essa lei, podemos esquematizar os dados dessas reações:



Observe que, segundo os dados, em ambas as reações, a soma da massa das substâncias reagentes é igual à massa das substâncias dos produtos.

Os esquemas resumem matematicamente o resultado da **Lei da Conservação das Massas** ou **Lei de Lavoisier**, pela qual foi possível definir as regras necessárias para a realização de cálculos em análises quantitativas.

Essa lei abriu caminho para outros estudos sobre a relação entre as massas das substâncias durante as transformações químicas. Os resultados desses trabalhos experimentais, no fim do século XVIII e início do XIX, permitiram que vários químicos pudessem enunciar outras leis relativas à transformação da matéria: as denominadas leis ponderais das combinações químicas. A seguir, vamos estudar uma delas.



Muita gente pensa que nas **reações de combustão** há desaparecimento da matéria, mas, como em toda reação química, na combustão a massa dos produtos (gases, vapor de água e cinza) é igual à massa dos reagentes (o combustível e o comburente – gás oxigênio).

Medindo a massa da esponja de aço antes e depois da queima, observa-se o aumento da massa do material sólido; mas, somando-se a massa do gás oxigênio que reage com o ferro, constata-se o previsto pela Lei de Lavoisier.



Todavia, essa característica implica uma linguagem mais complexa do que seria preferível em um recurso pedagógico para estudantes de Química da Educação Básica.

Ao relacionar os textos sobre *Reações Químicas* dessa obra com a proposta de Johnstone (1993) e com os pressupostos de Mortimer (2000) sobre as abordagens do conhecimento químico, pode-se observar que esta obra apresentou as propriedades mais divergentes, havendo fragilidades relevantes no modo com que tais abordagens estariam presentes no capítulo.

Com relação à *abordagem fenomenológica*, não foi possível compreender a existência de fatores satisfatórios que implicassem na presença de tais características nos textos. A teoria discutida no decorrer do capítulo não é relacionada com fenômenos macroscópicos comuns a estudantes de Educação Básica. Ao contrário, há o uso de exemplificações de caráter laboratorial, no qual grande parte da população não tem acesso facilmente. Essa divergência pode acarretar em dificuldades significativas no aprendizado dos conceitos discutidos, pois, se não houver a interferência do professor, poderá ser um grande obstáculo para a compreensão dos conhecimentos propostos nesta etapa.

A *abordagem teórica* (microscópica) foi priorizada pelo autor da obra, pois, basicamente, é o único modo como os conhecimentos são apresentados e discutidos. Essa característica implica em uma linguagem muito técnica e de difícil compreensão em algumas situações. Assim como na abordagem anterior, a fenomenológica, devido a essas características, novamente se faz necessária a ação mediadora do professor entre o conhecimento mais científico e uma visão mais do senso comum dos conceitos presentes no livro didático, não gerando um aprendizado insatisfatório.

A *abordagem representacional* (simbólica) na obra **C** possui características diferentes se compararmos com as outras obras analisadas nesta etapa. Nos textos das outras obras, o uso de recursos simbólicos teve a função de relacionar as abordagens fenomenológica e teórica, propiciando uma visão mais complexa e clara dos conceitos discutidos, visando ao aumento da compreensão dos fenômenos, em escalas macroscópicas e microscópicas. No entanto, nos textos sobre *Reações Químicas* desta obra, devido à ausência da abordagem fenomenológica, o uso de recursos simbólicos tem finalidade de

reforçar as definições construídas no desenvolvimento da abordagem teórica. Devido a essa situação, pode-se afirmar que não há uma triangulação satisfatória entre as abordagens nos textos analisados nessa obra.

Como exemplo das propriedades descritas, é apresentado na Figura 8, o modo como o conceito de reação de análise (decomposição) é abordado na obra **D** (ANTUNES, 2013, p. 172).

Figura 8 – Abordagem de reações de análise na obra C

Reação de decomposição ou análise

O carbonato de cálcio, CaCO_3 , decompõe-se quando aquecido, formando óxido de cálcio, CaO , e dióxido de carbono, CO_2 . O processo pode ser equacionado por:

$$\text{CaCO}_3(\text{s}) \xrightarrow{\Delta} \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$$

Reações como essa, em que uma substância se transforma em várias outras, são chamadas reações de análise ou de decomposição.

Reação de análise ou de decomposição consiste na formação de dois ou mais produtos a partir de um reagente.

Há certos tipos especiais de reação de decomposição que recebem nomes específicos, de acordo com o processo de decomposição. Em grego, o sufixo *lise* indica "quebra". Assim, a reação de decomposição que ocorre pela ação do calor é chamada de **pirólise**. Também em grego, o prefixo *piro* significa "fogo". Assim, pirólise seria a "quebra" de determinado composto pelo fogo.

Nome	Agente de decomposição	Exemplo
Pirólise	Calor (Δ)	$\text{CaCO}_3(\text{s}) \xrightarrow{\Delta} \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
Eletrolise	Eletricidade	$2 \text{NaCl}(\text{l}) \xrightarrow{\text{eletrólise}} 2 \text{Na}(\text{s}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
Fotólise	Luz	$\text{H}_2\text{O}_2(\text{l}) \xrightarrow{\text{luz}} \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g})$

Amostra de óxido de cálcio, CaO .

Fonte: Antunes (2013, p.172).

No exemplo fornecido, pode-se observar que o texto discute o processo de reações de decomposição de modo teórico em totalidade, usando, como exemplo, a reação de formação de óxido de cálcio (CaO) e dióxido de carbono (CO_2) a partir do carbonato de cálcio (CaCO_3) em presença de calor. Mesmo apresentando a teoria de modo detalhado, o uso de um contexto não comum à grande parte dos estudantes e uma linguagem que exige um conhecimento prévio bem estabelecido de conceitos complexos (como calor), pode não propiciar um processo favorável de aprendizagem. O uso das equações químicas e de imagens funciona como uma complementação da teoria, não tendo função de vincular aspectos fenomenológicos ao texto.

Em conclusão, os textos que discutem os conhecimentos sobre *Reações Químicas* da obra **D** divergem com a teoria de Johnstone (1993) e com os pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), com relação às abordagens do conhecimento químico, especialmente com a *abordagem*

fenomenológica. Devido a esse fato, esse material pode exigir um papel constante do professor como mediador, com o intuito de relacionar os conhecimentos excessivamente teóricos presentes no livro didático com fenômenos macroscópicos comuns a estudantes da Educação Básica.

Neste tópico, foi apresentada a análise das formas de abordagem do conhecimento químico, nos capítulos que envolvem os conceitos de *Reações Químicas* nas obras aprovadas no PNLD de 2015 para o componente curricular Química. Durante a análise, observou-se que as obras **A**, **B** e **C** apresentam-se convergentes à teoria de Jonhstone (1993) e aos pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), havendo condições favoráveis a uma triangulação entre os três modos de abordagens do conhecimento químico. A obra **D** apresenta característica singular em relação aos capítulos das demais obras analisadas, pois é frágil a abordagem fenomenológica, baseando os conhecimentos presentes nas formas de textos teóricos e símbolos ou modelos. Em resumo, as obras analisadas são caracterizadas, em relação às abordagens do conhecimento químico, do modo mencionado no Quadro 5.

Quadro 5 – Abordagens do conhecimento químico nos textos analisados sobre *Reações Químicas*

Obra	Abordagem Fenomenológica	Abordagem Teórica	Abordagem Representacional
A	Presente	Presente	Presente
B	Presente	Presente	Presente
C	Presente	Presente	Presente
D	Ausente	Presente	Presente

Fonte: Organizado pelo autor.

A seguir, será apresenta-se a análise do modo com que a redação dos capítulos relacionados a *Reações Químicas* pode propiciar, ou não, a construção de representações mentais, fundamentada na obra de Peirce (1974).

5.1.2 Análise das representações mentais sobre *Reações Químicas* nas obras investigadas

Nesta etapa da investigação, os capítulos dos livros aprovados no PNLD de 2015, do componente Química, foram analisados, com base nos estudos de Peirce (1974), com relação às representações mentais. Essa análise

envolvendo os conhecimentos das *Reações Químicas* visa a compreender como tais textos podem propiciar aos estudantes construções de representações mentais dos conceitos ali presentes. Ao analisar os capítulos, foi possível compreender que os modos de escrita adotados pelos autores podem interferir na construção de uma representação mental, tendo o pensamento de Peirce como fundamento.

No geral, todos os textos analisados podem propiciar requisitos para formação de representações mentais por parte dos estudantes. No entanto, devido a algumas características na linguagem presente nos capítulos, alguns textos podem ser menos favoráveis para esse processo.

Para Peirce (1974), o processo de representação mental deve ser contínuo e constituir-se em três etapas (*primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade*). Todas têm sua importância para a construção de uma representação coerente com o fenômeno externo ao sujeito. Ao analisar os textos sobre *Reações Químicas* sob a óptica dos estudos de Peirce, pretende-se compreender a presença de todas as etapas no decorrer dos capítulos.

Com relação à *primeiridade*, estágio inicial do processo de formação de uma representação mental, o sujeito forma uma primeira impressão do fenômeno, de modo rudimentar. Assim, é possível compreender que os livros didáticos têm condição de propiciar este estágio aos estudantes, pois o estudo de *Reações Químicas* pode ser facilmente contextualizado por meio de fenômenos macroscópicos, comuns e de fácil compreensão, podendo favorecer um estágio inicial da representação.

Em relação à segunda etapa, a *secundidade*, é necessário que o livro didático tenha características que propiciem recursos aos estudantes para a realização desse estágio. Nessa fase, os textos devem conter uma linguagem de fácil compreensão, que promova relações entre o novo conhecimento com outras representações já formadas e fundamentadas, de modo a ajudar a dar sentido ao produto que está sendo formado desde a *primeiridade*.

A *terceiridade*, o último estágio de formação, é a fase em que o sujeito implica os sentidos finais do fenômeno estudado e forma suas próprias leis para reger o novo conhecimento. O livro didático pode ser de grande apoio nesse processo, pois, junto aos processos realizados anteriormente, forma conjecturas e conclusões, de caráter verídico, dos novos conceitos estudados.

Os primeiros textos analisados nessa óptica foram os pertencentes ao capítulo da obra **A** intitulado “Introdução às transformações químicas” (MORTIMER; MACHADO, 2013, p. 224). Os textos desse capítulo apresentam uma linguagem de fácil compreensão e fazem uma abordagem rica em contextualizações e exemplificações dos conceitos discutidos. Ao relacionar as propriedades da escrita do capítulo com o estudo de semiótica de Peirce (1974), é possível notar uma convergência, relacionando com as três etapas de formação de uma representação mental.

O uso constante de contextualizações comuns aos estudantes da Educação Básica para introduzir os principais conceitos relacionados com as *Reações Químicas* é favorável ao processo de *primeiridade*. O uso de contextos de fácil compreensão pode ser uma característica fundamental nesse estágio, pois nesse momento não se faz necessário um nível de complexidade elevando, apenas uma formação de impressões iniciais do fenômeno.

Com relação à *secundidade*, os textos também apresentam propriedades favoráveis. No decorrer do capítulo, diversos conceitos apresentados em sessões anteriores são utilizados como fundamentos do novo conhecimento, propiciando o vínculo com representações já formadas.

Como conclusão das duas etapas anteriores, o capítulo analisado comumente encerra as discussões dos conhecimentos de modo claro e conciso, realizando referências com os aspectos mais relevantes abordados até a conclusão das discussões. Essa característica na escrita pode ser um fator primordial para a *terceiridade*.

Como exemplo do que foi referido, na Figura 5 (presente no subcapítulo anterior), no qual é apresentada uma introdução do processo básico de uma Reação Química, é possível compreender algumas características favoráveis ao processo de representação mental fundamentado em Peirce (1974). O texto usa como contexto exemplos cotidianos e simples, como a mudança de estado físico da água e a formação de coágulos em um copo de leite (*primeiridade*). No decorrer do texto, são descritos alguns aspectos que identificam a presença ou não de uma reação química, usando exemplos que foram discutidos em capítulos anteriores (*secundidade*). No final desse texto, é realizada uma pequena conclusão que sintetiza os principais tópicos abordados nesse

estágio, realizando uma relação entre fenômenos físicos e fenômenos químicos (*terceiridade*).

De modo geral, os textos sobre *Reações Químicas* da obra **A** podem ajudar no processo de construção de representações mentais, fundamentadas em Peirce (1974), pelos os estudantes da Educação Básica.

A segunda obra analisada foi a **B**, que aborda os conhecimentos de *Reações Químicas* no capítulo nomeado “*Reações Químicas*” (REIS, 2013, p. 82). Os textos desse capítulo apresentam propriedades similares com a obra **A**, mas a linguagem não é tão complexa, principalmente, com relação às articulações entre os conceitos químicos presentes. Esta obra pode ser favorável à formação de representações mentais, pois os textos apresentam propriedades convergentes com todas as etapas para a formação de uma representação mental.

Ao analisarmos os textos, relacionando-os com a *primeiridade*, pode-se observar que a autora utiliza diversas contextualizações de fácil compressão para iniciar as discussões dos novos conhecimentos, variando entre apresentações de contextos comuns ou experimentações de fácil realização em uma escola de Educação Básica.

Com relação à *secundidade*, observam-se algumas fragilidades nos textos. Em alguns casos isolados, os conceitos presentes são abordados, em uma visão teórica, de modo superficial, não apresentando relações do novo conhecimento com outros já aprendidos. Esse fato pode ser um obstáculo nessa segunda etapa de formação de uma representação mental, pois é requisito à relação de representações já consolidadas com a nova, em formação.

Nos textos em que os processos de *primeiridade* e *secundidade* apresentam características satisfatórias, são evidenciadas também características que privilegiavam o último processo, a *terceiridade*. Assim como na obra **A**, os textos buscam finalizar as discussões por meio de pequenas conclusões com o intuito de relacionar os principais tópicos abordados.

Ao analisar a Figura 6, presente no subcapítulo anterior, observam-se algumas das características descritas sobre os textos, com relação ao processo de representação mental. Nessa figura, é apresentada a abordagem do experimento realizado por Lavoisier, no qual é postulada a teoria que a

massa dos reagentes deve conservar-se nos produtos após o término de uma Reação Química. Por mais que não seja um experimento comum aos estudantes, é viável sua realização em escola, mesmo se houver recursos limitados (*primeiridade*). Com relação à *secundidade*, esse texto não realiza relações do fenômeno estudado com conhecimentos já compreendidos pelos estudantes, podendo prejudicar a formação da representação, de modo a simplificar negativamente a representação em construção. Devido a deficiências referentes à *secundidade*, não é possível afirmar que o texto pode propiciar a *terceiridade*, devido a essas etapas serem pré-requisitos.

Em suma, os textos sobre *Reações Químicas* da obra **B** convergem parcialmente com a teoria de Peirce (1974), principalmente em relação com a *secundidade*, que pode acarretar em fragilidades na *terceiridade*.

A obra **C** apresenta os conhecimentos relacionados às *Reações Químicas* no capítulo nomeado “Cálculos Químicos” (SANTOS; MÓL, 2013, p. 240). A linguagem desse capítulo apresenta similaridade com as obras analisadas anteriormente, mas com características mais próximas à obra **A**.

O uso de contextos comuns e simples para introduzir os principais conceitos abordados nos textos é frequente, utilizando exemplos relevantes para a sociedade atual ou sugestões de experimentos de fácil realização. Essa característica, paralelo a textos de simples compreensão, pode ser uma propriedade importante para a formação de representações mentais coerentes com os fenômenos discutidos.

Ao analisar os textos com relação à *primeiridade*, é notável a presença de fundamentos na linguagem propícios para esse estágio inicial, devido às diversas contextualizações e experimentações propostas contidas no capítulo. Um destaque importante é o esmero na especificidade dos exemplos e o diálogo com a abordagem teórica, com o uso de vocabulário simples e de fácil compressão.

O segundo estágio, a *secundidade*, também pode ser estimulado pelos textos. Devido a essa etapa tornar necessária a presença de relações do novo conhecimento com representações já consolidadas pelo sujeito, é preciso que o livro tenha condições de viabilizar diálogos constantes entre os conceitos novos com os discutidos em capítulos anteriores. No decorrer dos textos desta obra, as abordagens dos novos conhecimentos é comumente vinculado a

conceitos como atomística ou propriedades gerais da matéria, aumentando a complexidade da abordagem dos conhecimentos sobre *Reações Químicas*.

Assim como nos capítulos analisados das obras anteriores, como modo de finalizar as discussões teóricas, é realizada uma conclusão vinculando os principais tópicos, favorecendo a *terceiridade*, em que os estudantes concluem a formação da representação mental, criando um sistema complexo e de compreensão aprimorada.

Como exemplo do que está descrito, na Figura 7 (presente no subcapítulo anterior), no qual é abordada a Lei de conservação das massas, de Lavoisier, é possível compreender alguns pontos favoráveis à construção de uma representação mental. Do decorrer do texto, são apresentadas duas situações diversas que demonstram como pode ocorrer de modo macroscópico a teoria formulada pelo químico francês, por meio de um exemplo experimental (queima de uma esponja de aço) e por um contexto industrial (reação de combustão). Ao abordar de modo teórico a relação das massas entre reagentes e produtos, o texto relaciona o novo conhecimento com conceitos abordados em textos anteriores, como sistemas materiais. No final do texto, é realizada uma síntese, na qual os principais conhecimentos presentes são vinculados a uma interpretação final do fenômeno estudado.

Conclui-se que os textos do capítulo sobre *Reações Químicas* presentes na obra **C** apresentam propriedades favoráveis para a construção de representações mentais por parte dos estudantes da Educação Básica.

A obra **D** (ANTUNES, 2013) aborda os conhecimentos relacionados às *Reações Químicas* no capítulo intitulado “Balanceamento de equações e tipos de *reações químicas*”. Assim como descrito no subcapítulo anterior, observa-se o uso de uma linguagem excessivamente técnica para definir os conceitos presentes nos textos, não havendo uso de contextos significativos voltado ao público alvo desses livros, os estudantes de Ensino Médio.

Devido a essas características descritas, torna-se inviável relacionar os textos desta obra com o primeiro estágio da formação de uma representação mental. A *primeiridade* é o estágio no qual o sujeito deve formar um primeiro esboço de representação, uma ideia rústica do fenômeno. Os textos dessa obra, ao optarem por abordar os conhecimentos de modo teórico e com exemplos distantes do cotidiano de um estudante de Educação Básica, gera

um impedimento para a realização dessa etapa primordial. Essa situação exigirá do professor uma participação mais efetiva na mediação dos conhecimentos teóricos presentes no livro didático com situações fenomenológicas do cotidiano.

Devido à fragilidade do processo de *primeiridade* descrito, não é possível compreender se os textos dessa obra podem propiciar as etapas seguintes, *secundidade* e *terceiridade*, pois o primeiro estágio é requisito para os demais.

Como exemplo da descrição realizada, ao analisar a Figura 8 (presente no subcapítulo anterior), é notável a abordagem totalmente teórica, no qual é discutido o conceito de *reação de análise* de modo isolado a fenômenos comuns, no qual é descrita uma reação química de caráter laboratorial, sem vínculo com a rotina dos estudantes da Educação Básica, desfavorecendo a *primeiridade*.

Em conclusão, os textos sobre *Reações Químicas* da obra **D** não apresentam propriedades propícias para dar apoio na formação de representações mentais adequadas por parte dos estudantes, sobre os conhecimentos abordados no livro didático.

Após analisar os textos sobre *Reações Químicas* das obras aprovadas no PNLD de 2015, pode-se concluir que a maioria dos capítulos analisados contém características favoráveis para a representação mental. As obras **A** e **C** apresentaram os melhores resultados, pois todas as etapas propostas por Peirce (1974) para a construção de uma representação mental são propiciadas pelos textos. A obra **B** demonstrou fragilidade, em algumas situações, referente à etapa *secundidade*. A obra **D** apresentou deficiência desde a primeira etapa, a *primeiridade*, não favorecendo as etapas seguintes do processo.

A seguir, serão analisados os obstáculos epistemológicos presentes nos livros de Química aprovados no PNLD de 2015, referentes aos textos sobre *Reações Químicas*, classificando os mesmos nas categorias propostas por Bachelard (1996).

5.1.3 Análise dos obstáculos epistemológicos em capítulos de Reações Químicas

Nesta sessão, é apresentada uma análise com vistas a identificar a presença de obstáculos epistemológicos nos capítulos de *Reações Químicas* das obras aprovadas no PNLD de 2015, assim como identificar possíveis efeitos prejudiciais desses obstáculos para as aprendizagens dos conhecimentos abordados. Essa análise baseou-se na teoria de Gastón Bachelard (1996), que compreende obstáculos epistemológicos como possíveis impedimentos presentes na linguagem que dificultam a compreensão correta de conceitos e definições, sejam de qualquer natureza epistemológica.

Esses obstáculos podem estar presentes em diversos materiais didáticos, desde livros a recursos de tecnologia mais avançada. Nos livros didáticos, esses impedimentos podem estar contidos no uso de símbolos e analogias, que objetivam facilitar o processo de aprendizagem, todavia, se não houver um cuidado sobre esse tema, pode gerar obstáculos significativos para a compreensão dos conhecimentos. Esta análise se torna relevante em textos que abordam conhecimentos sobre *Reações Químicas*, pois diversos conceitos fundamentais desse estudo são de natureza essencialmente teórica, gerando a necessidade de abstração em nível mais elevado.

Ao analisar os capítulos das quatro obras aprovadas no último PNLD, não foram identificados obstáculos epistemológicos relevantes, demonstrando um cuidado por parte dos autores e das editoras em abordar os conhecimentos sobre *Reações Químicas* de modo claro e conciso.

As obras **A**, **B** e **C** apresentam uma linguagem que utiliza de modo conveniente diversas contextualizações para representar de modo macroscópico os fenômenos estudados. Essa característica de escrita poderia ocasionar obstáculos de diversas naturezas, mas foi percebido cuidado com a redação para evitar tais impedimentos. A obra **D**, ao optar por uma linguagem mais técnica, diminui a probabilidade de presença de obstáculos, pois o texto apresenta características mais objetivas e simplistas.

5.1.4 As Reações Químicas nos livros didáticos do PNL D 2015: uma síntese

Ao finalizar as análises dos capítulos sobre *Reações Químicas* presentes nesta seção, é possível identificar e compreender algumas características similares presentes nas obras. A comparação dos capítulos, sobre *Reações Químicas*, dos livros de Química do PNL D de 2015, em relação às abordagens do conhecimento químico, mostra, inicialmente, como tais obras podem promover representações mentais. Nesse sentido, as obras **A** e **C** mostram-se mais próximas do que enunciam os pressupostos presentes nas obras de Peirce (1974) e de Johnstone (1993). Essas evidências podem ser justificadas pelo uso de uma linguagem de melhor compreensão, privilegiando contextualizações simples e comuns para estudantes da Educação Básica, bem como apresenta relações dos conhecimentos sobre *Reações Químicas* com estudos anteriores ao capítulo analisado.

A obra **B** apresentou algumas carências em relação à *secundidade*, ao não promover vínculos entre os novos conhecimentos com representações já desenvolvidas pelos estudantes. Essa característica pode gerar possíveis prejuízos para construções de representações mentais coerentes com os fenômenos estudados.

A obra **D** apresentou os piores resultados nesta análise. Com relação às abordagens do conhecimento químico, os textos sobre *Reações Químicas* não continham aspectos fenomenológicos em sua estrutura, não havendo situações de possível vínculo entre a teoria presente no livro com situações macroscópicas e cotidianas aos estudantes de Educação Básica.

Devido à mesma fragilidade, os textos dessa obra também não favorecem a *primeiridade*, primeiro estágio para a construção de uma representação mental. Esse fato deve-se à ausência de contextos significativos aos estudantes, que podem não gerar uma primeira impressão do fenômeno de modo claro e conciso, pois são demonstradas exemplificações de caráter laboratorial somente, de pouca familiaridade a grande parte do público que esta obra está destinada.

Com relação aos obstáculos epistemológicos, nenhuma obra apresentou situação que pudesse ser categorizada nos diferentes tipos de impedimentos propostos por Bachelard (1997).

5.2 Análise de capítulos dos livros em relação à *Cinética Química*

As abordagens em relação aos conhecimentos relacionados à *Cinética Química* apresentam diferenças nos capítulos das obras analisadas, variando entre redação direta, superficial e simplista às organizações com redação e raciocínio mais complexos e contextualizados. Esse conhecimento é contemplado com capítulos próprios, sendo relacionados comumente aos conceitos da Termoquímica e das *Reações Químicas*.

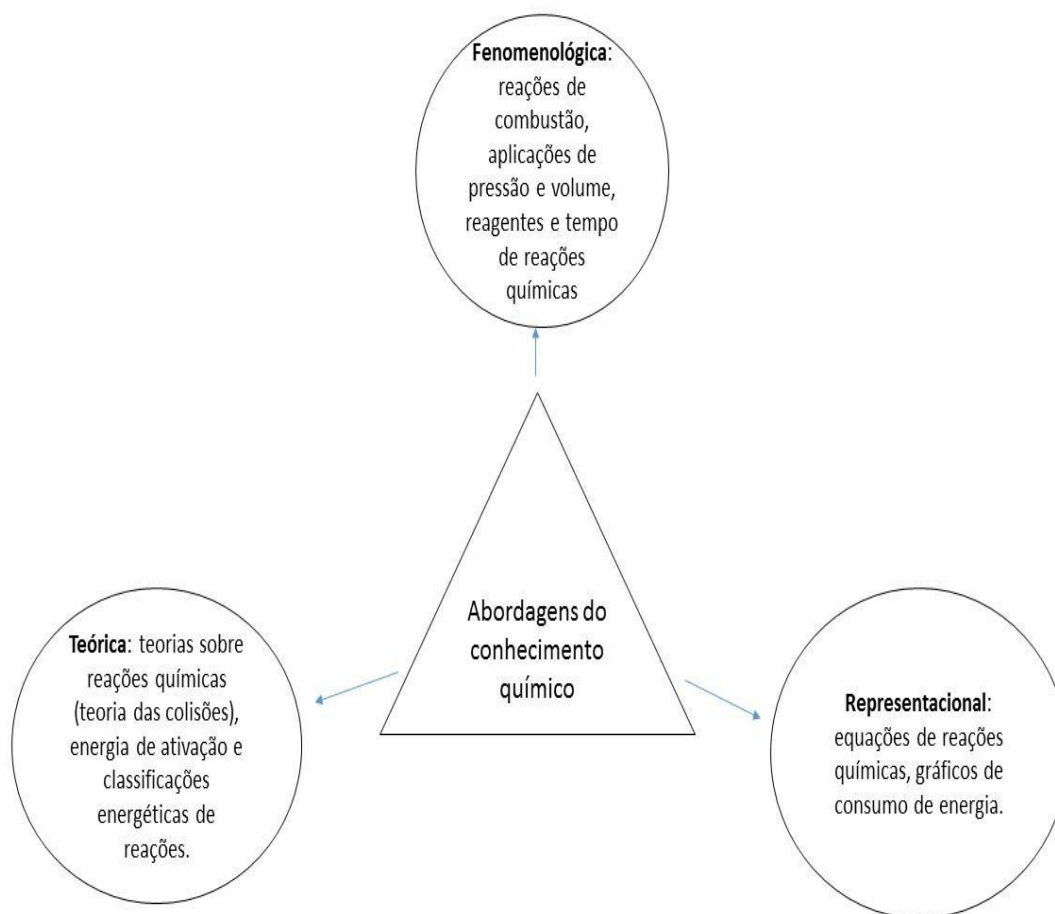
De modo a organizar a análise, com vistas a construir respostas ao problema de pesquisa, o texto está organizado em três tópicos: abordagens do conhecimento químicos em textos sobre *Cinética Química*; escrita dos textos sobre *Cinética Química* relacionada às representações mentais; e análise de obstáculos epistemológicos em capítulos de *Cinética Química*.

5.2.1 Abordagens do conhecimento químicos em textos sobre *Cinética Química*

De acordo com Johnstone (1993) e com Mortimer, Machado e Romanelli (2000), as abordagens do conhecimento químico devem gerar uma triangulação entre uma visão fenomenológica (macroscópica), teórica (microscópica) e representacional (simbólica) dos conceitos presentes no estudo da Química.

Considerando o estudo da *Cinética Química*, área que engloba diversos conceitos (colisões de partículas, concentração, catalisador, pressão, energia de ativação, entre outros), essa triangulação está associada a fenômenos macroscópicos comuns (como, por exemplo, a efervescência de uma pastilha antiácida) e sua representação simbólica (equações químicas). Essa integração está representada na Figura 9.

Figura 9 - Abordagens dos conhecimentos da *Cinética Química*



Fonte: Adaptado de Mortimer, Machado e Romanelli (2000).

Após a análise dos capítulos sobre *Cinética Química* nas obras selecionadas, foram identificadas diferenças relevantes nas abordagens dos conceitos principais deste assunto da Química. A obra **A** possui uma redação mais próxima à abordagem dos conhecimentos químicos fundamentais na teoria de Johnstone (1993) e com os propostos por Mortimer, Machado e Romanelli (2000), pois, com frequência, apresenta elementos associados aos três modos de abordagem nos conteúdos do capítulo.

Nesse sentido, a obra **C** tem características semelhantes à obra **A**, mas a abordagem fenomenológica mais frágil em relação à obra anterior, pois a redação do capítulo tende a destacar os fenômenos apresentados de maneira mais teórica, mesmo havendo, em alguns trechos, contextualizações do assunto discutido.

As obras **B** e **D** apresentam, prioritariamente, abordagens representacionais (simbólica e teórica microscópica), dificultando para o estudante a relação do conteúdo conceitual com os fenômenos mais comuns e visíveis.

A obra **A** apresenta os conhecimentos de velocidade de reação no capítulo intitulado “*Cinética Química: controlando a velocidade das reações*” (MORTIMER; MACHADO, 2013, p.124). No texto, os autores discutem os conceitos de modo a atender às três abordagens, como visto no modo de descrever uma reação de velocidade baixa, envolvendo o conceito de “ferrugem” (Figura 10).

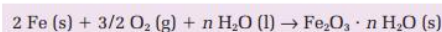
Figura 10 – Exemplo de abordagem da ferrugem na obra A

Reação lenta: a formação de ferrugem

A formação de ferrugem é uma reação química na maioria das vezes indesejável. E mesmo que ocorra lentamente, quando a intenção é a manutenção de peças metálicas, o ideal é retardá-la ainda mais ou impedir sua ocorrência.

No entanto, há casos em que a ferrugem é usada propositalmente, como em trabalhos artísticos, peças decorativas ou projetos arquitetônicos. A figura ao lado mostra um edifício em Londres, na Inglaterra, cuja fachada é toda de ferro enferrujado, com o objetivo de dar uma cor castanho-clara característica da ferrugem.

A ferrugem é resultado de uma reação do ferro com oxigênio, que ocorre na presença de água. Ela pode ser representada pela seguinte equação:



Para evitá-la, o modo mais simples é não deixar os reagentes em contato. Como é praticamente impossível impedir o contato do oxigênio do ar ou da água das chuvas com as grades de ferro, por exemplo, a melhor solução acaba sendo pintá-las, para que a estrutura de ferro não tenha contato com o oxigênio e a água. As tintas ainda são, portanto, a melhor solução contra a ferrugem para o caso de grades e portões de ferro. Uma outra solução é o chamado **eletrodo de sacrifício**, usado para preservar peças de ferro ou de outros metais que estão em contato constante com a água do mar. Nesse caso, usa-se um material que se oxida mais facilmente do que o ferro e que, dessa forma, vai se oxidar no lugar dele. Trabalharemos esse assunto no capítulo 5 deste volume.

Fonte: Mortimer e Machado (2013, p.130).



Figura 3.8
Prédio em Londres (Inglaterra) cuja fachada é enferrujada propositalmente.

A descrição desse fenômeno começa com uma imersão teórica, dando enfoque à descrição microscópica de um processo de oxidação, como a interação de um metal com o ar e a água. Essa explicação é complementada com a adição de uma representação simbólica, no caso, a equação química da oxidação do ferro em presença de água. No mesmo texto, os autores inserem o conceito de eletrodo de sacrifício, explicando a sua finalidade para a proteção de faixadas metálicas de prédios, exemplo macroscópico do fenômeno. A discussão do conceito “ferrugem”, por meio dessa triangulação pode facilitar a

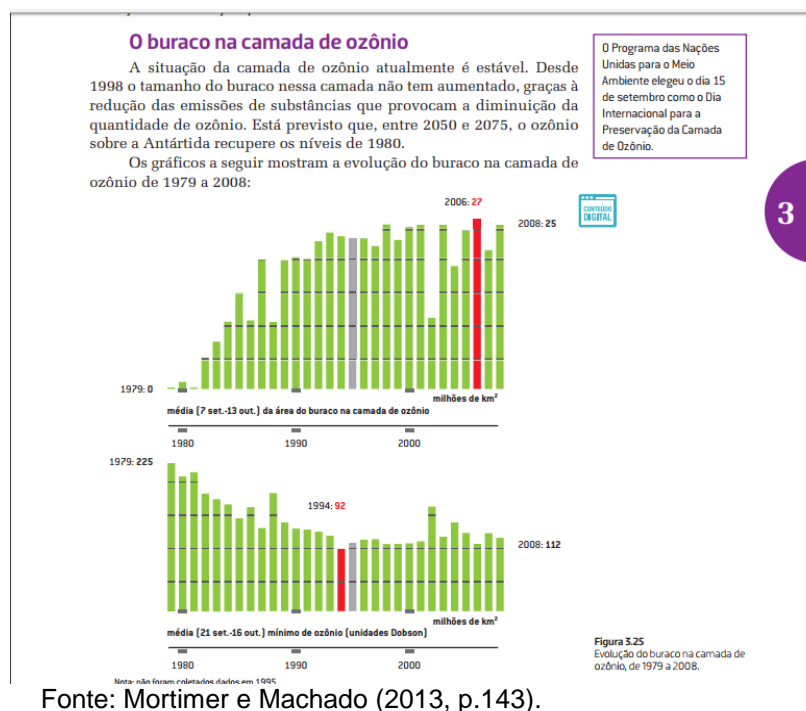
compreensão por parte do sujeito de que as *Reações Químicas* podem ocorrer lentamente e que estão presentes no mundo fora da sala de aula, onde basta ver uma faixa de prédio enferrujada para relacionar com o conhecimento construído na escola.

No caso apresentado, o uso da oxidação do ferro em uma faixa de um prédio foi a escolha dos autores para representar macroscopicamente o fenômeno de oxidação de metais, mas essa abordagem pode ser planejada em diferentes contextos e situações, havendo a possibilidade de o professor realizar mudanças em seu plano de aula, mediando uma situação vivenciada pelos estudantes, em que pode levar a maior significação do conhecimento (WERTSCH, 2010).

No decorrer do capítulo da obra **A**, os autores também apresentam a situação-problema do buraco da camada de ozônio como contexto de estudo de fatores que alteram a velocidade das reações (Figura 11). Essa escolha facilita uma interação entre as atividades de sala de aula com as notícias que são veiculadas fora dela. O texto que envolve esse assunto começa com uma apresentação do fenômeno usando uma linguagem gráfica relacionando o tempo (em anos) e o tamanho do buraco na camada de ozônio (em km^2). De modo a compreender o processo de variação dessa área, é demonstrado como é feita a medida de moléculas por área e são apresentados os conceitos envolvidos nesse processo. Nesse contexto, há informações mostrando as preocupações com os danos do buraco de ozônio ao nosso planeta.

Nesse trecho, os autores relacionam as causas do aumento do diâmetro do buraco da camada de ozônio com as teorias que explicam tal fenômeno. Essa relação entre as abordagens fenomenológica e teórica é realizada por meio de gráficos e equações (abordagem representacional), que podem contribuir para a compreensão por parte do estudante. Assim, a abordagem representacional faz mediação entre os âmbitos macroscópico e microscópico (MORTIMER, MACHADO, ROMANELLI 2000).

Figura 11 – Exemplo de abordagem simbólica do buraco na camada de ozônio na obra A



De modo geral, a obra **A** estabelece uma relação satisfatória as abordagens do conhecimento químico com as proposições de Jonhstone (1993) e com os pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000). A redação do texto visa a estabelecer relações entre as abordagens fenomenológica e teórica em suas discussões dos conhecimentos envolvidos na *Cinética Química*. A abordagem representacional é comumente utilizada como uma ferramenta mediadora entre as percepções macroscópicas e as interpretações microscópicas dos fenômenos apresentados.

A obra **C** apresenta os conhecimentos relacionados à velocidade das reações, no volume 2, no capítulo intitulado “*Cinética Química*” (SANTOS; MÓL, 2013, p. 240). A redação do capítulo apresenta similaridade com a redação do livro **A**, visando a iniciar as discussões dos conhecimentos com abordagens fenomenológicas e finalizar com proposições teóricas e representações simbólicas. No entanto, em alguns casos, há uma inversão dessa ordem, ocorrendo um processo que inicia pelos elementos teóricos e finaliza com uma abordagem macroscópica do fenômeno, passando pelo simbólico. Desse modo, os autores pretendem, nesses casos, apresentar verdades numa perspectiva teórica e simbólica para, então, ilustrar com elementos da abordagem fenomenológica. Observa-se uma ligação forte entre

o teórico e o simbólico, mas há uma distância entre esses elementos e o fenomenológico.

Essa característica pode ser reconhecida no trecho em que é detalhado o funcionamento de uma reação de combustão (Figura 12).

Mesmo havendo uma imagem de danos causados por um incêndio no início da página, o texto começa com uma visão teórica do fenômeno, elencando os componentes necessários para que ocorra uma reação de combustão, envolvendo comburente, combustível e ignição. De modo a representar a relação entre os componentes necessários, os autores optam por usar uma imagem que busca transmitir uma ideia de triangulação entre os componentes, para dar início ao processo. Com essas características, a abordagem simbólica não possui a característica de mediação entre o fenômeno macroscópico e a teoria relacionada com a reação de combustão, pois está complementando a abordagem teórica apresentada anteriormente.

Figura 12 – Exemplo de abordagens teórica e simbólica da reação de combustão na obra

C

Para ocorrer uma reação de combustão, são necessários: um combustível, um comburente, uma fonte de ignição e uma reação em cadeia.

Combustível é todo material oxidável (sólido, líquido ou gasoso) capaz de reagir com o gás oxigênio, denominado **comburente**. As reações de combustão liberam energia na forma de calor e luz e produzem, geralmente, o gás dióxido de carbono (CO_2) e água. Além desses gases, dependendo da composição do combustível e das condições da reação, outros podem ser produzidos, tais como dióxido de enxofre e monóxido de carbono.

Para que uma reação de combustão ocorra, é necessário um agente responsável pelo início do processo de queima: a **ignição**. Esse agente fornece a energia necessária para que a reação inicie e se mantenha, constituindo uma **reação em cadeia**. Nesse processo, enquanto existir combustível e comburente a reação continua espontaneamente.

A combustão pode ser representada pelo esquema abaixo:



O **triângulo do fogo** representa as condições necessárias para que ocorra fogo. São necessários três componentes: combustível, oxigênio e energia. O combustível propaga o fogo na presença de oxigênio (comburente) e de um acontecimento que forneça o calor inicial (ignição). Após o início da queima, a reação continua até que um dos três fatores seja eliminado. Sabendo disso, os bombeiros utilizam essa técnica para controlar o fogo: eliminam um desses componentes.



Com conhecimento químico sobre como se processa o fogo, os **bombeiros** usam técnicas diferenciadas para apagá-lo.

A abordagem fenomenológica da combustão é apresentada apenas no final do trecho sobre esse assunto. Os autores apresentam possíveis tipos de incêndio e extintores específicos para cada situação. Para isso, são apresentados quadros descritivos, com exemplos (Figura 13). Observa-se, assim, uma relação forte entre o teórico e o simbólico, mas as descrições e exemplos práticos (fenomenológico) são apresentados ao final e deslocados do teórico, desequilibrando a triangulação.

Na sequência, na parte em que são discutidos os fatores que influenciam a velocidade das *Reações Químicas*, em especial, quando é introduzido o conceito de superfície de contato, a redação do texto apresenta uma melhor triangulação entre as abordagens do conhecimento químico. O texto inicia contextualizando como a superfície de contato aumenta ou diminui a rapidez de uma reação química, exemplificando com reações (fenômenos) que ocorrem em meios aquosos e gasosos.

Figura 13 – Exemplo de abordagem fenomenológica da combustão na obra C

CLASSIFICAÇÃO DE INCÊNDIOS		
Classe	Tipos de incêndios	Tipos de extintores
A	Incêndio em materiais sólidos (madeira, papel, tecido etc.). Esses materiais queimam em superfícies e em profundidade, deixando resíduos (brasas, cinzas, carvão etc.).	Extintor com água pressurizada, extintor com pó químico seco – NaHCO_3 , extintor com gás carbônico.
B	Incêndio em líquidos inflamáveis (óleo, gasolina, querosene, álcool etc.). Esses materiais queimam somente em superfície e não deixam resíduos quando queimados.	Extintor com pó químico seco – NaHCO_3 , extintor com gás carbônico.
C	Incêndio em equipamentos ou rede elétrica energizados. Desligada a corrente elétrica, o incêndio passa a ser de classe A.	Extintor com pó químico seco – NaHCO_3 , extintor com gás carbônico.
D	Incêndio em metais que inflamam facilmente (sódio, potássio, magnésio, titânio, alumínio em pó etc.).	Abafamento com areia.

Só por curiosidade, procure um extintor em sua escola ou em sua casa e observe de que tipo ele é e qual a sua composição.

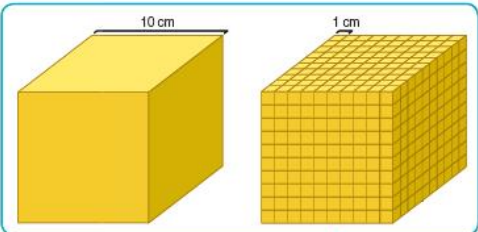
TIPOS DE EXTINTORES DE INCÊNDIO			
Tipo	Princípio de funcionamento	Tipo	Princípio de funcionamento
Extintor com água pressurizada 	A água, impulsionada por um gás (nitrogênio ou dióxido de carbono), resfria e abafa o fogo. Usado para controle de fogo em material sólido, como madeira.	Extintor com pó químico seco – NaHCO_3 	O pó abafa e sua decomposição, que produz H_2O , CO_2 e Na_2CO_3 , resfria o sistema. Usado para controle de fogo em material sólido ou líquido, além de equipamentos elétricos.
Extintor com gás carbônico 	O gás, além de abafar e resfriar, não conduz eletricidade. Usado para controle de fogo em material sólido ou líquido, além de equipamentos elétricos.	Extintor de espuma mecânica 	Contém água, espumante e ar pressurizado. A espuma resfria e abafa. Usado em locais onde há risco de vazamento de grandes quantidades de combustível como, por exemplo, em aeroportos.

Fonte: Santos e Mól (2013, p.242).

Os autores realizam uma comparação entre as velocidades de combustão da madeira e do gás de cozinha, demonstrando como a superfície de contato maior no combustível gasoso acelera o processo de combustão. Durante essa etapa, são apresentados elementos teóricos sobre o assunto, associados com a comparação anterior, relacionando como as partículas interagem em diferentes estados físicos e como influenciam a rapidez de reação. Para finalizar a discussão, são apresentados símbolos e imagem que expressam a importância da superfície de contato para a velocidade de uma reação química, os estudantes são provocados a fazerem o mesmo. A linguagem simbólica não apresenta a função de comprovar ou fundamentar o conhecimento, como ocorre no trecho sobre combustão, mas age como um elo entre o real e o abstrato, facilitando a relação dos mesmos por parte do sujeito. Essa representação simbólica pode ser vista na figura 14.

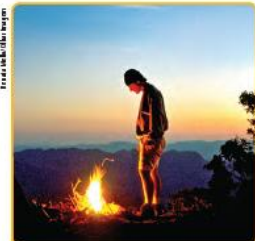
Figura 14 – Exemplo de abordagem simbólica da superfície de contato na obra C

Um exemplo dessa possibilidade de aumentar a rapidez de uma reação é o costume de picar alimentos para aumentar a rapidez do seu cozimento. Essa prática pode significar uma economia de gás de cozinha; no entanto, do ponto de vista nutricional não é um bom negócio: quanto mais os legumes são partidos, maior é a perda de substâncias nutritivas, extraladas por dissolução na água ou decompostas pela ação do ar.




Quantas vezes a superfície de um cubo de 10 cm de aresta é maior do que a soma das superfícies de 1000 cubos de 1 cm de aresta?


Explosões em silos podem acontecer devido ao fino pó que fica suspenso e pode ter sua combustão iniciada, por exemplo, por uma faísca ao acender um interruptor.



Um escoteiro sabe que para acender uma fogueira é necessário juntar gravetos bem finos, que têm uma superfície de contato muito maior do que a lenha e, por isso, pegam fogo com mais facilidade.



Qual das duas batatas irá cozinhar mais rapidamente? Qual delas perderá mais nutrientes?



Fonte: Santos e Mól (2013, p.252).

Em suma, o capítulo da Obra **C**, que aborda os conhecimentos relacionados à *Cinética Química*, está parcialmente em acordo com as proposições de Johnstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000), havendo uma deficiência em relação à abordagem fenomenológica em alguns casos, com foco mais intenso nas abordagens simbólica e teórica. Em outros casos, há uma triangulação entre as abordagens, como na obra **B**, que facilita

uma construção do conhecimento com mais complexidade, de modo a relacionar conceitos em escalas macroscópicas, microscópicas e representacionais.

A obra **B** aborda o conhecimento da velocidade das *Reações Químicas* no volume 2, no capítulo intitulado “*Cinética Química*” (REIS, 2013, p. 167). A redação do capítulo apresenta uma linguagem superficial e com pouca complexidade em seus fundamentos, dando prioridade a uma abordagem objetiva e com poucas contextualizações. Essa característica de redação privilegia as abordagens teórica e simbólica, não havendo presença significativa da abordagem fenomenológica.

No subcapítulo, “Condições para que ocorra reação” (REIS, 2013, p. 174), é discutida a possibilidade de ocorrer *Reações Químicas* por meio da teoria das colisões, a teoria mais simples para representar transformações químicas. Essa redação é apresentada na figura 15.

Figura 15 – Abordagem da teoria das colisões na obra B

* Se colocarmos em contato água, $H_2O(l)$, e monóxido de carbono, $CO(g)$, não haverá reação, pois não há afinidade química entre essas substâncias: $H_2O(l) + CO(g) \rightarrow$ não há reação.

** Moléculas, átomos, ions.

As ilustrações estão fora de escala. Cores fantasia.

○ hidrogênio

● cloro

As esferas acima são apenas um modelo, não possuem existência física real. Estão fora de escala de tamanho e as cores são fantasia.

2 Condições para que ocorra reação

Há duas condições que são fundamentais (embora não sejam suficientes) para que uma reação química possa ocorrer:

- Os reagentes devem entrar em contato.
- Deve haver afinidade química* entre os reagentes.

Assim, se colocarmos em contato gás cloro, $Cl_2(g)$, e gás hidrogênio, $H_2(g)$, **pode haver reação**, pois há afinidade química entre essas substâncias. A realização ou não de reação química, nesse caso, passa a depender de duas outras condições, ditas acessórias:

- As partículas** dos reagentes devem colidir entre si.
- A colisão entre as partículas dos reagentes deve ser efetiva, ou seja, deve ocorrer numa orientação favorável, com energia suficiente para romper as ligações existentes nos reagentes.

Colisão com orientação favorável

Considere, por exemplo, a reação entre gás hidrogênio e gás cloro, utilizando o modelo atômico de Dalton:

$$1 H_2(g) + 1 Cl_2(g) \longrightarrow 2 HCl(g)$$

○ ○

● ●

→

● ○

● ○

Para que as moléculas de $H_2(g)$ e $Cl_2(g)$ possam formar $HCl(g)$, elas devem colidir com energia suficiente (na presença de energia luminosa) e numa orientação favorável, conforme mostra a tabela a seguir:

Fonte: Fonseca (2013, p.174)

O modo de escrita escolhido pela autora privilegiou uma visão excepcionalmente teórica do conhecimento sobre a teoria das colisões, usando uma lógica objetiva para tratar do assunto, por meio da organização do texto na forma de itens. Ao compararmos com os pressupostos de Johnstone (1993)

sobre as abordagens do conhecimento químico, constatamos que a abordagem fenomenológica (macroscópica) está ausente, havendo apenas abordagens teórica e simbólica. A abordagem teórica é representada por meio de uma série de itens que mencionam os requisitos necessários para que uma reação química ocorra, envolvendo conceitos abstratos, como energia e afinidade química. Por sua vez, a abordagem simbólica está presente por meio de desenhos, que simbolizam a “colisão” entre duas moléculas, no caso, moléculas de gás hidrogênio e gás cloro. Um destaque positivo para a representação dos átomos é sua diferenciação em relação aos seus tamanhos, possibilitando ao estudante diferenciar as moléculas somente por uma característica física. O vínculo entre as abordagens teórica e simbólica é forte, similar a alguns casos vistos na obra **C**, no qual o uso de símbolos tem como objetivo complementar o que é apresentado na escrita teórica.

A ausência da abordagem fenomenológica implica falta de fundamentos macroscópicos na representação da teoria das colisões. A escolha de uma linguagem objetiva e não contextualizada para representar essa teoria implica a necessidade da mediação do professor (OLIVEIRA, 2002), relacionando os conhecimentos teóricos com fenômenos macroscópicos do cotidiano do estudante. Diversas estratégias podem ser usadas para contextualizar esse fenômeno, como o uso de exemplos relacionados com pressão e volume de modo a representar diferentes condições que possam promover colisões entre moléculas e átomos mais comuns aos estudantes.

Na sequência do capítulo, nas páginas onde são discutidos os fatores que alteram a velocidades de *Reações Químicas*, a autora apresenta algumas condições em um quadro, como: natureza dos reagentes, superfície de contato, luz e eletricidade, concentração de reagentes, pressão, temperatura, catalisadores e inibidores. Menciona também exemplos e como cada fator influencia a reação química. Esse quadro está representado na Figura 16.

Ao analisar a Figura 16, percebe-se que são apresentados os fatores de um modo essencialmente teórico, no qual a importância está em representar, em uma escala microscópica, como ocorre a interferência deles na velocidade das *Reações Químicas*. Assim como no exemplo anterior (teoria das colisões), a escrita privilegiou as abordagens teórica e simbólica do conhecimento químico.

A abordagem simbólica do conhecimento relacionada aos fatores que influenciam a rapidez das reações é representada por meio de equações químicas na sua grande maioria, com vários exemplos. Nos fatores concentração dos reagentes e pressão, a autora deu preferência para uma representação por meio de um desenho, no qual a alteração está associada à quantidade de colisões entre as moléculas presentes em um cilindro isolado do meio externo. O uso desses símbolos, tanto quanto os desenhos e equações, novamente apresentam característica de complemento da teoria, não sendo um processo mediador das visões microscópica e macroscópica dos fenômenos estudados.

Assim como no exemplo das teorias das colisões, não há presença de abordagem fenomenológica para esse conhecimento. Essa carência de contextualização com o mundo macroscópico pode exigir do professor o papel de mediador entre os conhecimentos teóricos com fenômenos comuns do cotidiano.

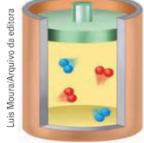
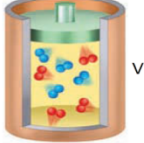
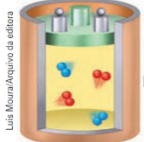
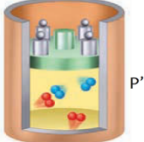
O uso de exemplificações simples para os fatores apresentados poderia ser uma solução a ser empregada, como sugerir experimentos simples aos estudantes. Um exemplo pode ser questionar como dissolver uma pastilha efervescente em um copo de água fria e comparar o tempo de reação com outra dissolvida em água quente. Essa ação pode facilitar interpretações práticas do conhecimento discutido teoricamente no livro.

Em relação a esse capítulo, a obra **B** não é coerente à teoria de Johnstone (1993) e com os pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000) com relação às abordagens do conhecimento químico. Pode-se justificar esse fato pela ausência da abordagem fenomenológica no texto, o que implica uma característica de redação que prioriza a teoria e fornece pouco destaque para a sua contextualização.

A última obra analisada, obra **D**, apresenta os conhecimentos relacionados com a rapidez das *Reações Químicas* no capítulo intitulado "*Cinética Química*" (ANTUNES, 2013, p. 84). Ao analisar esse capítulo, observa-se uma escrita similar à obra **C**, em que as abordagens do conhecimento químico propostos por Johnstone (1993) estão presentes na redação, no entanto, há algumas deficiências na introdução da abordagem fenomenológica dos conhecimentos.

Figura 16 – Abordagem dos fatores que alteram a velocidade das **Reações Químicas** na obra B

As ilustrações estão fora de escala. Cores fantasia.

Fatores que influenciam a taxa de desenvolvimento das reações		
Fator	Efeito na reação	Exemplo
Natureza dos reagentes	Quanto maior for o número de ligações a serem rompidas nos reagentes e quanto mais fortes forem essas ligações, mais lenta será a reação, e vice-versa. Reações orgânicas (com moléculas grandes e várias ligações covalentes) são mais lentas que reações inorgânicas (com íons já dissociados em meio aquoso).	<ul style="list-style-type: none"> Instantânea a 20 °C. $1 \text{HCl(aq)} + 1 \text{NaOH(aq)} \longrightarrow 1 \text{NaCl(aq)} + 1 \text{H}_2\text{O(l)}$ Muito lenta a 20 °C. $1 \text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 1 \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O(v)}$
Superfície de contato	Quanto maior a superfície de contato (área efetivamente exposta) entre os reagentes, maior a taxa de desenvolvimento da reação, e vice-versa.	<ul style="list-style-type: none"> Reação muito lenta $\text{Fe(barra)} + \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O(v)} \longrightarrow \text{ferrugem}$ Reação mais rápida $\text{Fe(palhinha)} + \text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O(v)} \longrightarrow \text{ferrugem}$
Luz e eletricidade	Algumas reações específicas ocorrem instantaneamente quando ativadas pela luz (reações fotoquímicas) ou pela eletricidade e são extremamente lentas na ausência desses fatores.	<ul style="list-style-type: none"> Reação ativada pela luz: $1 \text{H}_2(\text{g}) + 1 \text{Cl}_2 \longrightarrow 2 \text{HCl(g)}$ Reação ativada pela eletricidade: $2 \text{H}_2(\text{g}) + 1 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O(l)}$
Concentração de reagentes	Quanto maior o número de partículas de reagentes por unidade de volume, isto é, quanto maior a concentração, maior será a probabilidade de haver colisão efetiva entre essas partículas. Consequentemente, maior será a taxa de desenvolvimento da reação.	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Reação lenta</p>  <p>V</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Reação rápida</p>  <p>V</p> </div> </div>
Pressão	Um aumento de pressão num sistema em reação implica um contato maior entre os reagentes, pois o volume do sistema diminui, o que possibilita um maior número de colisões entre as partículas e consequentemente maior taxa de desenvolvimento da reação.	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Reação lenta</p>  <p>P</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Reação rápida</p>  <p>P' > P</p> </div> </div>
Temperatura	Um aumento de temperatura causa um aumento na taxa de desenvolvimento de reações químicas tanto exotérmicas como endotérmicas porque leva os reagentes a atingir mais rapidamente o complexo ativado.	<ul style="list-style-type: none"> Reação exotérmica: $t \text{ } ^\circ\text{C} \uparrow, T_{d,\text{reação}} \uparrow$ $1 \text{H}_2(\text{g}) + 1 \text{Cl}_2 \longrightarrow 2 \text{HCl(g)}$ Reação endotérmica: $t \text{ } ^\circ\text{C} \uparrow, T_{d,\text{reação}} \uparrow$ $1 \text{H}_2(\text{g}) + 1 \text{I}_2 \longrightarrow 2 \text{HI(g)}$
Catalisadores	O catalisador participa da formação do complexo ativado diminuindo a energia de ativação da reação e aumentando sua taxa de desenvolvimento.	O $\text{NO}_2(\text{g})$ atua como catalisador da reação: $2 \text{SO}_2(\text{g}) + 1 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{SO}_3(\text{g})$ aumentando sua taxa de desenvolvimento.
Inibidores	O inibidor participa da formação do complexo ativado aumentando a energia de ativação da reação e diminuindo sua taxa de desenvolvimento.	O meio ácido, $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$, inibe a reação: $2 \text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O(l)} + 1 \text{O}_2(\text{g})$ diminuindo sua taxa de desenvolvimento.

Fonte: Fonseca (2013, p.178)

Essa deficiência é evidenciada no início do capítulo, onde é apresentado o cálculo de medida da rapidez média de uma reação química. O texto inicia com uma tabela que relaciona dados de concentração e tempo da reação de decomposição do pentóxido de dinitrogênio (N_2O_5) em dióxido de nitrogênio (NO_2) e gás oxigênio (O_2). De modo a melhorar a compreensão dos dados da tabela, foi construído um gráfico para evidenciar o decréscimo e o aumento dos

componentes durante a reação química. Essa redação pode ser evidenciada na Figura 17.

O uso de símbolos como abordagem principal para demonstrar o caminho de uma reação química é uma alternativa para detalhar o percurso de consumo de reagentes e síntese de produtos, mas não detalha como esses dados são identificados. A busca por uma abordagem fenomenológica, ausente nesse exemplo, poderia facilitar a compreensão do processo químico apresentado nas formas teórica e simbólica, por meio de inserções de conceitos com naturezas macroscópicas, como pressão, volume e temperatura. Os caminhos das *Reações Químicas* gasosas são acompanhados, principalmente, por esses fatores, por serem de fácil identificação e compreensão.

Figura 17 – Interpretação de rapidez de reação química na obra D

8 Medida da rapidez média de uma reação

Os dados experimentais, representados na tabela abaixo, foram coletados de um experimento envolvendo a decomposição do pentóxido de dinitrogênio a 55 °C.

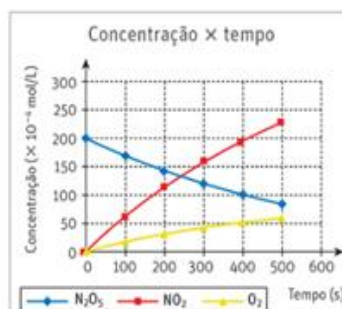
Tempo (s)	Concentração ($\times 10^{-4}$ mol/L)		
	N_2O_5	NO_2	O_2
0	200	0	0
100	168	64	16
200	142	116	29
300	120	160	40
400	101	198	49
500	86	228	57

Fonte de pesquisa: McMURRAY, John E.; FOX, Robert C.; MCCARRY, Logan. *Chemistry*. 4. ed. New Jersey: Pearson Education, 2004.

Esses valores mostram que a concentração de N_2O_5 diminui com o tempo e que as concentrações de NO_2 e de O_2 aumentam com o tempo na proporção 2 : 4 : 1, respectivamente. Com os dados do experimento pode-se construir o gráfico ao lado.

Note que a inclinação de todas as curvas é maior no início (reação mais rápida no começo) e menor no final.

A rapidez média de consumo de N_2O_5 e de formação de NO_2 pode ser calculada em diferentes intervalos de tempo.



Fonte: Antunes (2013, p.88)

Na sequência do capítulo, em que é problematizado o funcionamento de uma reação química, a obra apresenta uma redação com melhor triangulação entre as abordagens do conhecimento químico. No subcapítulo “Como as reações ocorrem” (ANTUNES, 2013, p. 90), o texto inicia com questionamentos sobre o motivo da reação entre magnésio (Mg) e água (H_2O) ocorrer de modo mais rápido quando a molécula apresenta maior energia, na forma de calor.

Essa reação química é apresentada de numa perspectiva fenomenológica por meio de uma figura que demonstra o processo, relacionando com diferentes temperaturas de uma amostra de água. Essa problematização apresenta uma função importante para a sequência do subcapítulo, pois propicia a inserção da teoria das colisões como possível resposta ao questionamento proposto. Ao escolher tal estratégia de redação, esse trecho pode facilitar ao estudante o vínculo com a teoria em relação a fenômenos macroscópicos e com diferentes formas simbólicas, e para o professor, pode facilitar o planejamento das aulas com níveis de complexidade mais elevados, em relação ao conhecimento da teoria das colisões. A redação é apresentada na Figura 18.

Figura 18 –Abordagem da teoria das colisões na obra D

2. Como as reações ocorrem?

Uma mesma reação pode ser mais rápida ou mais lenta dependendo das condições em que ela é realizada.

Veja, por exemplo, a reação de magnésio com água na fotografia ao lado.

O magnésio (Mg) interage muito lentamente com água fria no tubo A. No tubo B, temos magnésio em água morna. A temperatura mais alta torna a reação mais rápida. Observe as bolhas se despreendendo no tubo B. Ambos os tubos contêm fenolftaleína, que adquire coloração rósea à medida que a reação ocorre e se forma hidróxido de magnésio.

Por que ocorre a diferença de comportamento observada na fotografia? Que fatores alteram a rapidez das reações?

Teoria das colisões

Trata-se de um modelo que explica satisfatoriamente os fatores que influem na rapidez das reações. De acordo com a teoria das colisões, os átomos, moléculas ou íons das substâncias reagentes devem colidir para que a reação química ocorra. Quanto mais colisões por unidade de tempo (maior frequência de choques) houver, maior será a rapidez da reação.

Segundo essa teoria, para que haja uma reação é necessário que a colisão ocorra com uma quantidade mínima e suficiente de energia, capaz de provocar um rearranjo de átomos dos reagentes, formando novas ligações.

Reação de magnésio com água.

Representação em cores-fantasia das colisões em uma reação química. Observe a orientação das moléculas quando colidem.

Energia de ativação

Note nos diagramas a quantidade de energia necessária para a ocorrência de uma reação.

Energia livre

Há reações que ocorrem espontaneamente. Nessas reações, os reagentes possuem energia suficiente para vencer a barreira de energia de ativação.

Fonte: Antunes (2013, p.90)

Em conclusão, a obra **D** tem característica similar à obra **C**, em relação às abordagens do conhecimento químico a partir da teoria de Johnstone (1993) e com os propostos por Mortimer, Machado e Romanelli (2000), mas com fragilidade na inserção da abordagem fenomenológica (macroscópica) dos conhecimentos presentes, relacionados com a velocidade das *Reações Químicas*.

Neste tópic, foi apresentada a análise das formas de abordagem do conhecimento químico, nos capítulos que envolvem os conceitos de *Cinética Química* nas quatro obras aprovadas no PNLD de 2015 para o componente curricular Química. Durante a análise, observou-se que apenas a obra **A** apresenta uma redação que privilegia todas as abordagens propostas por meio da teoria de Johnstone (1993) e pelos pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), gerando relações entre visões macroscópicas, microscópicas e simbólicas dos mesmos conceitos. As obras **C** e **D** apresentam características semelhantes em relação à inserção da abordagem fenomenológica no texto, mesmo não sendo frequente no capítulo. A obra **B** apresentou característica singular em relação aos capítulos das demais obras analisadas, pois é frágil a abordagem fenomenológica, baseando os conhecimentos presentes nas formas de textos teóricos e símbolos ou modelos. Em resumo, as obras analisadas são caracterizadas, em relação às abordagens do conhecimento químico, do modo mencionado no Quadro 6.

Quadro 6 - Abordagens do conhecimento químico nos textos analisados sobre *Cinética Química*

Obra	Abordagem Fenomenológica	Abordagem Teórica	Abordagem Representacional
A	Presente	Presente	Presente
B	Ausente	Presente	Presente
C	Parcialmente	Presente	Presente
D	Parcialmente	Presente	Presente

Fonte: Organizado pelo autor.

Pela análise realizada das obras em relação ao capítulo da velocidade das *Reações Químicas*, observando-se a síntese do Quadro 6, depreende-se que a obra **A** contempla as três abordagens, enquanto as outras obras apresentam necessidades de aprimoramento referentes à abordagem fenomenológica.

A seguir, apresenta-se a análise do modo com que a redação dos capítulos relacionados à velocidade da reação pode promover, ou não, a construção de representações mentais, fundamentada na obra de Peirce (1974).

5.2.2 Análise das representações mentais sobre Cinética Química nas obras investigadas

Nesta etapa da investigação, os capítulos dos livros aprovados no PNLD de 2015, do componente Química, foram analisados, com base nos estudos de Peirce (1974), relativos às representações mentais. Essa análise, envolvendo os conhecimentos das velocidades das *Reações Químicas*, visa a compreender como tais textos podem promover construções de representações mentais dos conceitos ali presentes. Ao analisar os capítulos, foi possível compreender que os modos de escrita adotados pelos autores podem interferir na construção de uma representação mental, tendo o pensamento de Peirce como fundamento, no qual há necessidade da presença das etapas da *primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade* (Peirce, 1974).

De modo geral, todas as obras analisadas podem promover processos de representação mental pelos estudantes por meio dessas etapas. Entretanto, algumas diferenças no uso de exemplos e contextualizações podem gerar dificuldades ao leitor nos momentos pertencentes às etapas da *primeiridade* e *secundidade*. Esse fato pode ser justificado, considerando que tais etapas são destinadas às primeiras impressões dos fenômenos externos ao sujeito e às relações com representações já estabelecidas por ele. A deficiência de contextualizações associadas ao cotidiano do estudante da educação básica e uso de exemplos incomuns a ele, como fenômenos químicos raros e de alta complexidade, pode gerar impedimentos para uma elaboração de uma representação mental adequada. Ao realizar uma comparação entre os estilos de escrita dos capítulos analisados, nesta etapa, é possível compreender que a obra **B** pode favorecer a realização das etapas de elaboração de uma representação mental pertinente, enquanto as outras obras apresentam características, esporádicas ou constantes, desfavoráveis a esse processo.

Com base na teoria de Peirce (1974), para formação de representações mentais, a análise do capítulo “*Cinética Química: controlando a velocidade das reações*” da obra **A** (MORTIMER; MACHADO, 2013, p. 124) mostra uma adequação do texto à referida teoria. Ao introduzir conceitos relacionados à rapidez das reações, que possivelmente são desconhecidos aos estudantes, os autores privilegiam um processo que parte inicialmente de percepções comuns

e macroscópicas, favorecendo uma compreensão simples, mas sólida, dos fenômenos apresentados. Essa característica favorece o processo da *primeiridade*, pois é nessa etapa que o sujeito cria suas primeiras impressões e conjecturas de um fenômeno externo à sua mente. Nesse momento, não há necessidade de linguagem complexa ou fundamento teórico sofisticado, pois é um primeiro contato, um processo primário, com objetivo de fornecer qualidade a um conjunto de signos novos, construindo uma primeira impressão (PEIRCE, 2005).

Na sequência da escrita, ou em paralelo com a introdução do conhecimento, são apresentados novos fundamentos teóricos (definições específicas aos conceitos mencionados) e relações com conhecimentos já discutidos em momentos anteriores, promovendo relações entre os novos conceitos com os já compreendidos pelo estudante. Essa propriedade privilegia ao sujeito vincular o novo aprendizado com os seus conhecimentos anteriores, característica associada à *secundidade*, segunda etapa para desenvolver uma representação mental. Essa relação entre signos novos com outros, já consolidados pelo sujeito, modifica a natureza do novo conhecimento, transformando de uma simples qualidade para uma representação mais complexa.

Como modo de dar um desfecho às discussões dos conhecimentos apresentados, os autores apresentam conclusões fundamentadas em textos, imagens e esquemas para sintetizar esses conhecimentos. Essas conclusões apresentam características diretas e objetivas, podendo contribuir para o encaminhamento a uma representação mental mais elaborada pelo estudante. Nessa etapa, pode-se relacionar esse modo de apresentação do texto com o processo da *terceiridade*, no qual o sujeito cria signos, na sua complexidade, estabelecendo leis que regem os fenômenos compreendidos (PEIRCE, 1999).

Como exemplo, o processo de ferrugem (oxidação do ferro), apresentada na Figura 10, presente na sessão anterior, referente às abordagens do conhecimento químico, a característica da escrita pode favorecer a representação mental. Inicialmente, os autores apresentam a ferrugem de um modo simples, em que é possível compreender suas principais características macroscópicas, podendo propiciar a *primeiridade*. A seguir, é detalhado como ocorre esse processo de um modo teórico, por meio de

conceitos abstratos, e relacionando-os com conhecimentos antes discutidos, como nas *Reações Químicas*, podendo propiciar a *secundidade*. O texto finaliza abordando eletrodos de sacrifício como alternativa para oxidações indesejáveis, relacionando com o processo da reação química de oxidação, representada pela equação química, o que pode propiciar a *terceiridade*.

Em suma, o capítulo sobre velocidade das reações da obra **A** possui características que podem propiciar, aos estudantes, elaborações de representações mentais de modo claro e conciso em relação ao objeto de estudo.

Na sequência, foi analisado o capítulo sobre velocidade das reações da obra **C**, intitulado de “*Cinética Química*” (SANTOS; MÓL, 2013, p. 240). Inicialmente, percebe-se que a escrita do capítulo privilegia, com pequenas exceções, linguagens simbólicas, realizando pequenas inserções de textos contextualizados para abordar os conceitos presentes no capítulo. Essa propriedade tende a não mediar relações entre os conceitos abstratos com fenômenos macroscópicos comuns aos estudantes. Relacionando essa característica com as etapas de elaboração de uma representação mental, é possível compreender que a redação pode dificultar o processo de *primeiridade*, no qual há necessidade de definições e contextualizações simples, capazes de contribuir para a constituição de representações primárias pelo estudante dos fenômenos estudados.

Com relação à *secundidade*, há outra dificuldade presente na escrita, pois os conceitos novos apresentados no capítulo raramente são vinculados com os conhecimentos de domínio dos estudantes ou com conteúdos abordados anteriormente na obra. Essa propriedade torna o professor elemento de mediação do novo conhecimento com os já construídos pelos estudantes, contribuindo para dar sentido às suas representações mentais em desenvolvimento.

O último estágio da representação mental, a *terceiridade*, pode ser favorecido pela característica de escrita proposta pelos autores, pois são apresentados diversos esquemas, modelos e imagens capazes de possibilitar uma representação ou um modelo mental adequado dos fenômenos apresentados. No entanto, a dificuldade de propiciar os dois primeiros processos, *primeiridade* e *secundidade*, pode originar erros de compreensão

dos fenômenos estudados, em parte ou na sua totalidade, pois as fases anteriores são pré-requisitos da última etapa.

De um modo geral, o capítulo analisado da obra **C** pode exigir um papel constante, por parte do professor, de mediador do processo de representação mental por parte dos estudantes, contextualizando com mais especificidade os conceitos abstratos presentes no texto e relacionando conhecimentos anteriores com os novos discutidos no livro didático.

O terceiro capítulo analisado, da obra **B**, denominado “*Cinética Química*” (REIS, 2013, p. 167), apresenta escrita com características semelhantes à obra **D**. Essa semelhança está associada às propriedades que podem possibilitar representações mentais. No entanto, esse capítulo apresenta uma linguagem mais técnica e simplista, não favorecendo contextualizações e relações com os conhecimentos dos sujeitos. É possível identificar uma tendência a representar os conhecimentos de modo superficial, não havendo desenvolvimento de discussões mais articuladas e claras após a introdução dos conceitos.

Ao optar por essa forma de apresentação do texto, a presente obra pode não fornecer subsídios suficientes para que haja a elaboração de representações mentais pelos estudantes. Assim, as características presentes, na perspectiva de Peirce (1974), são pouco adequadas para propiciar a *primeiridade* e a *secundidade*. Os novos conhecimentos são comumente discutidos por meio de representações simbólicas (como equações químicas e esquemas), exigindo uma abstração complexa para a interpretação do texto. Isso pode gerar representações equivocadas ou modelos errôneos, pois o livro apresenta linguagem simbólica como principal ferramenta para abordar os conhecimentos.

Em síntese, a obra **B**, em relação ao processo de elaboração das representações mentais, apresenta características que lembram a obra **D**, mas difere por apresentar uma carência mais significativa em qualidade que remetam às etapas da *primeiridade* e *secundidade*, exigindo um processo de mediação externo ao livro, podendo ser de responsabilidade do professor, com vistas a atenuar tais déficits. Não é possível relacionar a característica de escrita com a etapa da *terceiridade*, pois com a frequente ausência das etapas anteriores, não é possível atingir tal estágio (PEIRCE, 2005).

No último capítulo analisado, presente na obra **D**, com nome de “*Cinética Química*” (ANTUNES, 2013, p. 84), é observada uma escrita mais complexa, se compararmos com as obras **B** e **C**, com relação à descrição dos conceitos novos aos estudantes, tornando o livro didático como objeto de planejamento das aulas de Química pelo professor. É perceptível uma preocupação por parte do autor em relacionar os novos conhecimentos com conceitos de capítulos anteriores da obra, principalmente, com teorias de reação química e termoquímica. No mesmo capítulo, também são encontrados diferentes processos de contextualização dos conhecimentos discutidos, mas havendo uso constante de exemplos muito sofisticados para a Educação Básica.

Como exemplo, essa situação pode ser observada na figura 17, presente na sessão anterior, na qual é apresentada a reação química de decomposição do pentóxido de dinitrogênio (N_2O_5) como meio para exemplificar o processo de formação de produtos e consumo de reagentes. O exemplo escolhido, em geral, não é um fenômeno presente na realidade dos estudantes da Educação Básica (também não o é para estudantes de Química do Ensino Superior), podendo criar dificuldades e obstáculos para a compreensão do fenômeno estudado e o consequente desinteresse em aprender sobre o assunto. Uma alternativa seria optar pelo estudo de fenômenos mais comuns, presentes no cotidiano dos estudantes, como reações de combustão, por exemplo. O uso de contextualizações pouco familiares aos estudantes pode acarretar em primeiras impressões mal fundamentadas, desenvolvendo uma *primeiridade* com importantes deficiências.

Com relação à *secundidade*, a redação do capítulo apresenta propriedades positivas para a sua formação, pois a opção de usar constantemente conhecimentos dos estudantes para apoiar os fundamentos dos novos conceitos, possibilita a interação da nova representação em associação com as que já estão estabelecidas pelo sujeito. A terceira e última etapa, a *terceiridade*, também pode ser favorecida pelo texto, pois, frequentemente, são usados modelos e outras ferramentas para concluir o desenvolvimento das discussões dos conceitos apresentados.

Em resumo, a obra **D** apresenta, em geral, características propícias para a formação de representações mentais relacionadas aos conhecimentos de *Cinética Química*, por parte dos estudantes. A única propriedade negativa é o uso de contextualizações pouco comuns aos estudantes, fator que não favorece a construção do estágio da *primeiridade* de modo adequado.

Concluindo, nesta seção, foram analisados os capítulos sobre a rapidez das *Reações Químicas*, das obras aprovadas no PNLD de 2015. Na perspectiva das representações mentais, em Peirce (1974), por parte dos estudantes. Da análise, resulta que a obra **A** apresenta características favoráveis para o processo visado, havendo importantes propriedades na escrita para todas as etapas do processo de elaboração de representações mentais. Na obra **D** foi identificada deficiência em relação a favorecer o processo de *primeiridade*, devido à falta do emprego de contextualizações, envolvendo situações concretas da vida cotidiana dos estudantes. Os modos de redação presentes nos capítulos sobre *Cinética Química* das obras **B** e **C** fundamentam os conceitos por meio de símbolos e definições superficiais e reducionistas, desde a introdução dos conceitos, de modo a dificultar a geração de processos de *primeiridade* e *secundidade* (mais evidente na obra **B**).

A seguir, apresenta-se a análise dos obstáculos epistemológicos presentes nos livros de Química aprovados no PNLD de 2015, classificando os mesmos nas categorias propostas por Bachelard (1996).

5.2.3 Análise dos obstáculos epistemológicos em capítulos de Cinética Química

Nesta seção, é apresentada uma análise com vistas a identificar a presença de obstáculos epistemológicos nos capítulos de *Cinética Química* das obras aprovadas no PNLD de 2015 e compreender possíveis efeitos prejudiciais desses obstáculos para as aprendizagens dos conhecimentos abordados. Essa análise baseou-se na teoria de Gastón Bachelard (1996).

Segundo Gomes e Oliveira (2007), obstáculos epistemológicos podem estar presentes em diversas formas de linguagens, como imagens, modelos e metáforas. Em capítulos sobre *Cinética Química*, em geral, o conhecimento está expresso por meio de modelos, representações gráficas e outras imagens,

o que pode conter obstáculos à aprendizagem sobre a rapidez de *Reações Químicas*.

No processo de análise, evidenciam-se obstáculos epistemológicos em dois dos quatro capítulos investigados, nas categorias *obstáculo verbal* (caracterizados por escolhas não adequadas na linguagem verbal) e *obstáculo primeiro* (relacionado com erros conceituais). São poucos casos notáveis, sendo todos equívocos de fácil correção ou aprimoramento. O capítulo que apresentou o maior número de casos foi o da obra **A**, com cinco ocorrências. O da obra **C** apresenta dois obstáculos, enquanto os das obras **B** e **D** não apresentaram obstáculos epistemológicos na perspectiva de Bachelard.

O primeiro capítulo analisado foi o da obra **A**, denominado de “*Cinética Química: controlando a velocidade das reações*” (MORTIMER; MACHADO, 2013, p. 124). Do mesmo modo como foi identificado nas análises anteriores, o uso de uma linguagem mais contextualizada e complexa interferiu no objetivo investigado. Essa característica de redação pode ter influenciado no número de ocorrências em termos de *obstáculo verbal* nesse capítulo. Na página 129, no qual é abordado o processo de formação de gás Nitrogênio (N_2), por meio da decomposição de azida de sódio (NaN_3), reação química fundamental para o funcionamento dos *air bags*, há a presença do obstáculo verbal apresentado no seguinte trecho:

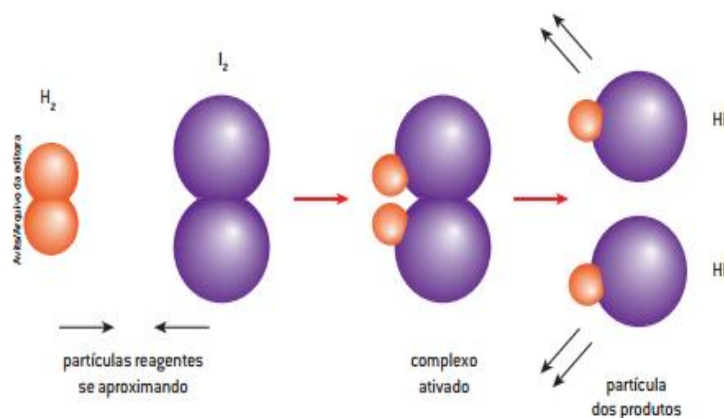
A reação de formação de nitrogênio a partir de NaN_3 é um tipo de reação de explosão bastante controlada que ocorre com a formação de um **número pequeno de moléculas** no estado gasoso (MORTIMER; MACHADO, 2013, p. 129, **grifo do autor**).

No trecho apresentado, o modo em que é expressa a quantidade de moléculas de gás nitrogênio (N_2) formadas na reação química pode gerar um obstáculo para o estudante, pois apenas um mol de moléculas desse gás corresponde ao valor de $6,02 \times 10^{23}$ (mais de seis sextilhões) moléculas, e no caso do acionamento de um *air bag*, provavelmente são formados mais de um mol de produto.

Outro tipo de obstáculo epistemológico notado neste capítulo foi o *obstáculo primeiro*, no qual é apresentada uma linguagem que não comunica a veracidade sobre os conceitos apresentados. Como exemplo, na página 140, os autores introduzem a teoria das colisões como método usado para explicar o funcionamento de uma reação química. É apresentada uma imagem que

simula o processo de colisão entre moléculas de gás hidrogênio (H_2) e gás iodo (I_2), gerando duas moléculas de ácido iodídrico (HI). O obstáculo presente nessa representação consiste nas escalas empregadas que não condizem com o real raio atômico dos átomos envolvidos na reação química, havendo a possibilidade de transmitir uma impressão equivocada entre os tamanhos dos átomos de hidrogênio e iodo. Essa imagem é mostrada na Figura XX.

Figura 19 – Abordagem da teoria das colisões da obra A



Fonte: Mortimer e Machado (2013, p. 140).

Outro equívoco presente nessa representação de reação química é a alteração dos tamanhos dos átomos entre as etapas de reagentes e produtos. Ao analisarmos, em especial os átomos de hidrogênio, percebe-se uma diminuição considerável no tamanho desses átomos ao deixarem de ser reagentes para se tornarem produtos, fenômeno que não ocorre na proporção apresentada na Figura 19.

A obra **A** apresenta obstáculos epistemológicos, mesmo de fácil correção, no capítulo em que aborda os conhecimentos da *Cinética Química*, as quais podem influenciar interpretações equivocadas de conceitos de natureza simples, gerando a necessidade de o professor atuar como mediador para evitar tais impedimentos para a aprendizagem.

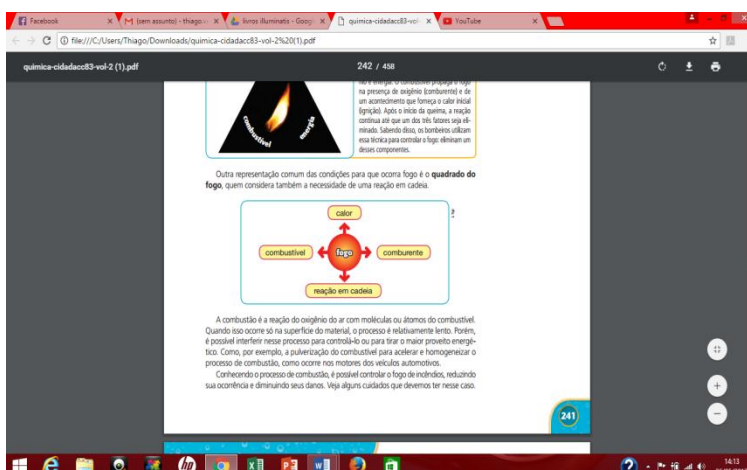
O segundo capítulo analisado, pertencente à obra **B**, intitulado de “*Cinética Química*” (REIS, 2013, p. 167), não apresentou nenhum obstáculo epistemológico em sua redação. Ao obter esse resultado, é possível compreender tal fenômeno por meio da linguagem empregada pela autora na redação do capítulo. Diferente do capítulo analisado anteriormente, não há o

uso de contextualizações expressivas para representar os conceitos presentes, tendo opção de definir os conhecimentos de modo objetivo e superficial.

O terceiro capítulo analisado foi o da obra **C**, nomeado “*Cinética Química*” (SANTOS; MÓL, 2013, p. 240). Esse texto apresenta uma linguagem superficial, similar à obra **A**, mesmo havendo uma frequência maior de textos que objetivam contextualizar os conhecimentos presentes no capítulo. Com relação aos obstáculos epistemológicos, foram encontrados apenas dois casos, de *natureza verbal* e de *obstáculo primeiro*. O primeiro obstáculo encontrado está presente na etapa do capítulo, no qual os autores abordam conhecimentos em torno da reação de combustão, em especial, em relação aos fatores necessários para que ocorra esse fenômeno químico. Na página 241, os autores apresentam um esquema que sintetiza os componentes fundamentais para dar início a um processo de combustão, referindo combustível, comburente, calor e reação em cadeia. Esse esquema é demonstrado na Figura 20.

No esquema apresentado na Figura 20, as setas com sentido do fogo aos fatores necessários para dar início ao processo de combustão podem favorecer uma compreensão equivocada do processo por parte dos estudantes, pois o sentido indica o fogo como origem, e não os fatores necessários para a combustão ocorrer.

Figura 20 - Abordagem da reação de combustão da obra C

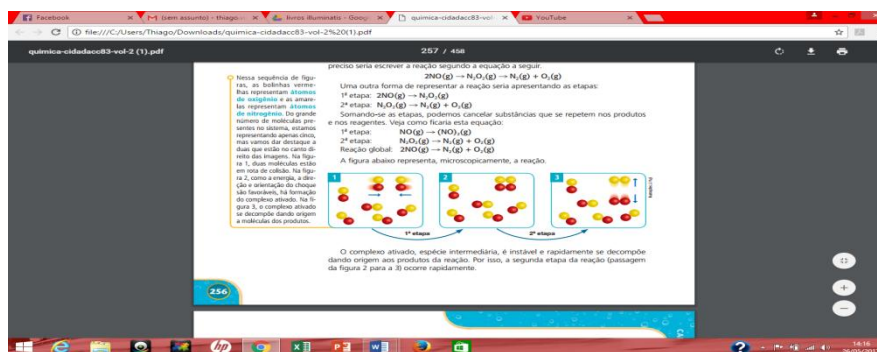


Fonte: Santos e Mól (2013, p.241).

O segundo obstáculo pode ser encontrado na p. 256 do capítulo, que aborda a teoria das colisões como causa e funcionamento das *Reações*

Químicas. É um caso de *obstáculo primeiro*, pois há um equívoco conceitual no texto. Os autores mostram um esquema para representar como ocorrem as colisões de átomos na formação de novas moléculas. O exemplo escolhido teve o objetivo de expressar diferentes interações entre moléculas de NO (monóxido de nitrogênio) para formarem moléculas de H₂ (gás hidrogênio) e N₂ (gás nitrogênio), destacando a importância da colisão favorável para a formação dos produtos. O esquema é mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Abordagem da reação de combustão da obra C



Fonte: Santos e Mól (2013, p.256).

No esquema apresentado, mesmo havendo diferenciação em cores para representar os átomos de nitrogênio e oxigênio, percebe-se que os tamanhos são os mesmos, transmitindo um conhecimento errôneo, no qual esses dois tipos de átomo possuem o mesmo tamanho (raio atômico). Se compararmos os raios atômicos dos dois elementos, nota-se que o átomo de nitrogênio é cerca de 8 % maior que o átomo de oxigênio. Mesmo havendo uma diferença pequena, é recomendado que essa característica seja expressa no esquema, evitando possíveis compreensões equivocadas. Outra característica da Figura 21 é a ausência de movimentação nas moléculas não pertencentes à colisão detalhada. Esse modo de representação pode propiciar um conhecimento equivocado aos estudantes, pois imprime uma inércia inexistente para a matéria em condições naturais de temperatura e pressão.

Ao compararmos o número de obstáculos encontrados na obra **C** com os presentes na obra **A**, percebe-se uma presença menos relevante de impedimentos no decorrer do capítulo, mas são encontrados obstáculos da mesma natureza. Pode-se compreender também, assim como na obra **A**, que o professor deve mediar nos casos em que há obstáculos epistemológicos nos

textos, ajudando os estudantes a compreenderem os conceitos de modo adequado.

No último capítulo analisado, da obra **D**, denominado de “*Cinética Química*” (ANTUNES, 2013, p. 84), não foi encontrado caso de obstáculo epistemológico de qualquer natureza, mesmo havendo uma linguagem mais complexa e contextualizada que os capítulos pertencentes às obras **B** e **C**.

Ao analisar todos os capítulos que abordam os conhecimentos de rapidez das *Reações Químicas* dos livros aprovados no PNLD de 2015, percebe-se que apenas a obra **A** apresenta características desfavoráveis em relação aos obstáculos epistemológicos. As obras restantes apresentam poucos ou nenhum caso em seus textos, gerando chances menores de interpretações equivocadas dos conceitos presentes nos capítulos. O número maior de casos na obra **A** pode ser vinculado com o uso de uma linguagem mais sofisticada e complexa, que por vezes pode gerar algum obstáculo a um leitor que interaja pouco com o conhecimento abordado. Durante a análise, foram identificados obstáculos de natureza verbal e obstáculo primeiro, não tendo ocorrência de obstáculos epistemológicos de outra natureza, como animismo, substancialismo ou realismo.

5.2.4 A Cinética Química nos livros didáticos do PNLD 2015: uma síntese

Ao finalizar as análises dos capítulos sobre *Cinética Química*, apresentadas nesta seção, é possível identificar e compreender algumas características similares presentes nas obras. A comparação dos capítulos, sobre *Cinética Química*, dos livros de Química do PNLD de 2015, em relação às abordagens do conhecimento químico mostra, inicialmente, como tais obras propiciam representações mentais. Nesse sentido, a obra **A** mostra-se mais próxima do que enunciam os pressupostos presentes nas obras de Peirce (1974) e de Johnstone (1993), complementados por Mortimer, Machado e Romanelli (2000). Essas evidências podem ser justificadas pelo uso de uma linguagem mais específica, privilegiando contextualizações simples e comuns para estudantes da Educação Básica, bem como apresenta relações dos conhecimentos sobre *Cinética Química* com estudos anteriores ao capítulo analisado. Entretanto, no capítulo de *Cinética Química* da obra, estão

presentes mais obstáculos epistemológicos do que as demais obras, mesmo que poucos.

Os capítulos das obras **B**, **C** e **D** apresentam carências vinculadas à abordagem fenomenológica do conhecimento químico, podendo implicar dificuldades para os estudantes no primeiro estágio da representação mental, a *primeiridade*. Essa relação deve-se à necessidade inicial de o sujeito compreender os fenômenos por meio de definições simples e de conhecimento comum a ele, visando a uma primeira impressão. Essa característica foi evidenciada com mais ênfase no capítulo de *Cinética Química* da obra **B**.

Ainda, sobre a obra **B**, o capítulo de *Cinética Química* não apresenta nenhum obstáculo epistemológico notável. Isso também pode ser evidenciado na obra **D**. Esse resultado pode ser justificado por um uso de linguagem superficial e simplória para definir os conceitos apresentados, característica que pode não favorecer uma abordagem fenomenológica do conhecimento, gerando uma *primeiridade* equivocada. Na obra **C**, foram encontrados apenas dois obstáculos epistemológicos de natureza *verbal* e *obstáculo primeiro*.

Conclui-se, em relação aos capítulos que *Cinética Química* analisados, que os autores têm tido o cuidado na elaboração das obras no que tange aos obstáculos epistemológicos, não tendo sido encontrado problemas relevantes. Entretanto, mais cuidado poderiam ter na elaboração dos textos em relação à abordagem fenomenológica, considerando a importância disso na representação mental dos conhecimentos elaborada pelos estudantes.

5.3 Análise de capítulos dos livros em relação à *Função Álcool*

As abordagens em relação aos conhecimentos relacionados à *Função Álcool* apresentam diferenças nas obras analisadas, variando entre redação direta, superficial e simplista e redação envolvendo raciocínios mais complexos e contextualizados. Esse conhecimento não é contemplado com capítulos próprios, sendo relacionados, geralmente, aos conceitos gerais da Química Orgânica e Bioquímica.

De modo a organizar a análise, com vistas a construir respostas ao problema de pesquisa, o texto está organizado em três tópicos: abordagens do conhecimento químico em textos sobre *Função Álcool*; escrita dos textos sobre

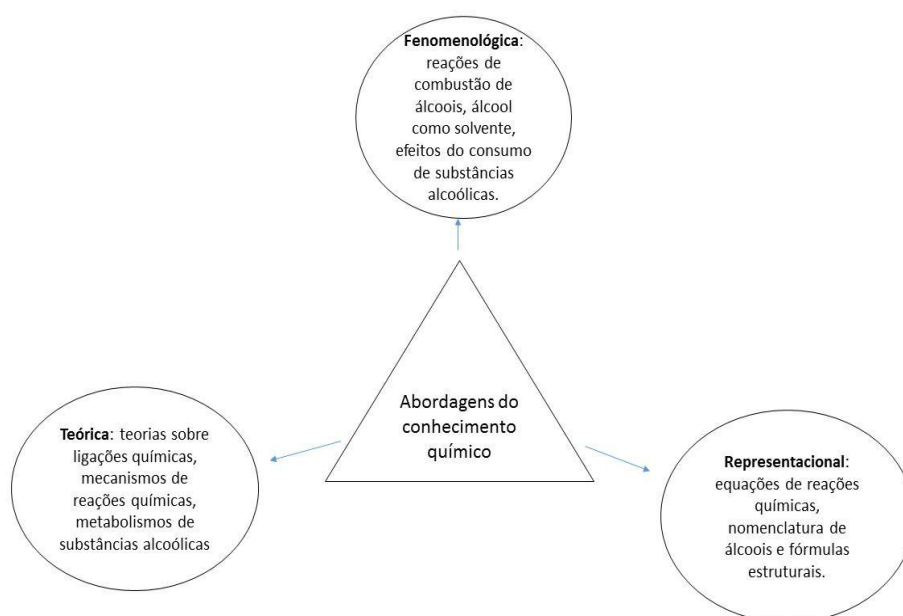
Função Álcool relacionada às representações mentais; e análise de obstáculos epistemológicos em textos de *Função Álcool*.

5.3.1 Abordagens do conhecimento químico em textos sobre a *Função Álcool*

Partindo dos preceitos de Johnstone (1993) e de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), os conhecimentos relacionados à Química devem ser abordados em três perspectivas diferentes, denominadas como abordagens fenomenológica (macroscópica), teórica (microscópica) e representacional (simbólica). Ao considerar os estudos relacionados com substâncias orgânicas, classificadas como álcoois, é possível e recomendável a abordagem nas três perspectivas, pois essas substâncias estão presentes em diversos produtos comuns aos estudantes da Educação Básica, desde combustíveis a medicamentos. Algumas possibilidades estão apresentadas na Figura 22.

Assim como nas análises anteriores, notam-se diferenças significativas nos modos como os conhecimentos sobre a *Função Álcool* são abordados nas obras investigadas. A linguagem utilizada pelos autores interfere significativamente na forma que os conhecimentos são discutidos, variando entre obras superficiais e outras com maior complexidade.

Figura 22 - Abordagens dos conhecimentos da *função álcool*



Fonte: Adaptado de Mortimer, Machado e Romanelli (2000).

No decorrer do processo de análise, observa-se que a obra **A** apresenta características próximas às abordagens do conhecimento químico propostos por Johnstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000) nos textos sobre *Função Álcool*, apresentando uma linguagem complexa, no sentido de estabelecer uma rede de conhecimentos, privilegiando contextualizações comuns aos estudantes de Educação Básica e vinculando os novos conhecimentos com aprendizados já discutidos com os discentes, de modo a concluir as definições dos conceitos presentes nos textos com representações simbólicas.

A obra **D** apresenta características parcialmente similares aos pressupostos de Johnstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000), pois apresenta contextualizações superficiais das teorias presentes nos textos, podendo dificultar a compreensão dos estudantes por carências na abordagem fenomenológica (macroscópica).

As obras **B** e **C**, ao apresentar uma linguagem reducionista e excessivamente objetiva, se afastam da abordagem fenomenológica dos diversos conhecimentos relacionados à *Função Álcool*, dando mais importância às representações simbólicas (abordagem representacional) e às descrições teóricas do conteúdo (abordagem teórica).

O capítulo da obra **A**, que aborda os conhecimentos sobre a *Função Álcool*, denomina-se “A Química das drogas e medicamentos e as funções orgânicas” (MORTIMER; MACHADO, 2013, p. 10). Assim como nos outros capítulos analisados pertencentes a essa coleção, percebe-se um esmero na linguagem empregada para abordar os conceitos presentes nos textos. Para introduzir conceitos relacionados à *Função Álcool*, os autores geralmente relacionam o novo aprendizado com fenômenos comuns e simples aos estudantes de educação básica, facilitando uma compreensão macroscópica dos fenômenos estudados (abordagem fenomenológica). Em seguida, os textos presentes visam a relacionar os novos conceitos com conhecimentos estudados anteriormente pelos discentes, com vistas à abordagem teórica, com destaque a uma discussão mais detalhada do conhecimento em questão. Como conclusão, geralmente, há a inserção de imagens ou esquemas (abordagem representacional) para sintetizar as principais definições presentes

na discussão, ou para facilitar a compreensão de fenômenos que exijam grande nível de abstração.

Como exemplo dessa característica de escrita, que privilegia relações com a teoria de Johnstone (1993) e com os pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000), sobre abordagens do conhecimento químico, apresenta-se o trecho da página 51, representada da Figura 23, que refere uma comparação entres os processos de combustão da gasolina e do etanol.

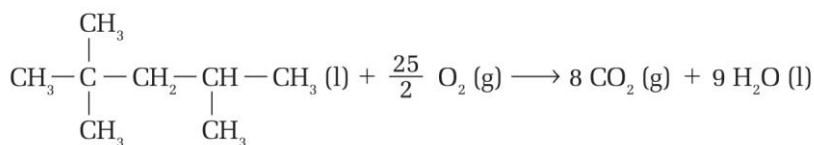
Figura 23 – Abordagem da combustão do etanol na obra A

Ao contrário do que ocorre com os combustíveis derivados do petróleo, a combustão de etanol não contribui significativamente para o aumento do efeito estufa, pois praticamente todo o CO₂ produzido na sua queima é absorvido da atmosfera no crescimento da cana-de-açúcar. Lembre que as plantas, para crescerem, realizam a fotossíntese, que consome CO₂ do ar.

A gasolina é uma mistura de hidrocarbonetos, dentre eles o iso-octano (ou isooctano, C₈H₁₈), considerado como tendo octanagem igual a 100. A octanagem é uma medida da qualidade da gasolina, relacionada à resistência à detonação da mistura ar/gasolina antes que o pistão dentro do cilindro dos motores atinja o seu curso completo e a vela de ignição solte a faísca que provoca a explosão da mistura.

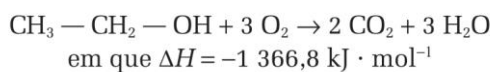
Para escrevermos a equação de combustão do etanol, devemos considerar que esse combustível, como uma substância pertencente à função orgânica dos **álcoois**, tem um grupo –OH ligado à cadeia carbônica constituída por dois átomos de carbono. Assim, sua fórmula é CH₃CH₂–OH. Os álcoois (substâncias que pertencem a essa função orgânica e não o plural de um deles, o etanol ou álcool etílico) têm a fórmula geral R–OH, em que R– representa um grupo alquila. Na nomenclatura Iupac, o sufixo **ol** é usado para indicar a função **álcool**, daí o nome etanol para um álcool com dois átomos de carbono. Para álcoois de cadeias maiores, é necessário indicar também a posição do grupo funcional –OH na cadeia, a exemplo do que foi mostrado para as cetonas e para alquenos e alquinos. O grupo –OH ligado diretamente a um grupo fenila (–C₆H₅) define outra função orgânica, os **fenóis** (figura 1.60).

Após essas considerações, podemos apresentar as equações para a reação de combustão do etanol e do iso-octano (C₈H₁₈):



$$\Delta H = -5461,0 \text{ kJ/mol}$$

Combustão do etanol, produzindo gás carbônico e água:



Fonte: Mortimer e Machado (2013, p. 51).

No trecho apresentado os autores iniciam a discussão abordando o quão prejudicial é o uso de gasolina, como combustível automotivo, para o efeito estufa, pois é um combustível derivado do petróleo (fonte não renovável de energia). Como uma possível solução para amenizar tal transtorno, é apresentado o etanol como alternativa de combustível menos agressiva à natureza, devido ao seu modo de obtenção (recurso renovável de energia). Em sequência, o texto apresenta como ocorre o processo de combustão dentro de um motor veicular, relacionando com partes importantes do automóvel, como cilindros e velas de ignição. Esse modo de escrita pode propiciar aos estudantes uma compreensão fenomenológica da combustão do etanol, habilitando o sujeito a ter uma interpretação macroscópica de uma substância alcoólica tão importante atualmente. Após essa contextualização, os autores iniciam a abordagem teórica da estrutura da molécula de etanol e do processo de combustão da mesma substância orgânica. Para introduzir a definição do conceito álcool, o texto utiliza conceitos de capítulos anteriores, como hidrocarbonetos e fórmula molecular, para relacionar os novos conhecimentos, como nomenclatura e identificação de álcoois. Para representar o processo de combustão do etanol, relaciona-o com idêntico processo químico, envolvendo gasolina e apresentando as equações químicas de ambos os processos. Nota-se que a abordagem representacional possui a função de complementar a abordagem teórica do conhecimento discutido.

De modo geral, a obra **A** possui uma linguagem com características semelhantes à teoria de Johnstone (1993) complementada por Mortimer, Machado e Romanelli (2000), em que é proposta uma interação constante entre os três modos de abordagem dos conhecimentos químicos (fenomenológica, teórica e representacional). A linguagem presente no capítulo visa a um estudo mais complexo da função orgânica álcool, se compararmos com as demais obras analisadas, pois coloca em discussão um conhecimento mais articulado com os diversos contextos em que podem estar presentes as substâncias alcoólicas, desde o uso de etanol como combustível até a presença da mesma função orgânica em bebidas alcoólicas e medicamentos. A relação entre as abordagens teórica e representacional é objetiva, e os símbolos apresentados durante o texto são ferramentas para a compreensão do que está sendo discutido nas etapas teóricas da redação.

O capítulo analisado em sequência foi o pertencente à obra **B**, intitulado “Funções oxigenadas” (REIS, 2013, p. 86). Os conhecimentos relacionados à *Função Álcool* estão presentes no primeiro subcapítulo, denominado “Álcoois”. Assim como nos demais capítulos analisados da mesma obra, observa-se a escolha de uma linguagem reducionista e superficial. Há poucos casos, ou ausência, de contextualizações dos conceitos presentes no texto. Os conceitos presentes no capítulo são comumente introduzidos de modo essencialmente teórico, de modo que a abordagem fenomenológica não está presente. A autora prioriza a abordagem teórica da *Função Álcool*, representando essa função orgânica por meio de características físico-químicas (solubilidade, estados de agregação, polaridade, entre outros) e vinculando tais características com símbolos e figuras para concluir as discussões propostas. A única etapa da redação em que está presente um processo de contextualização é nas últimas páginas do subcapítulo, nas quais são apresentadas algumas utilidades de compostos alcoólicos. No entanto, esses textos não têm interações com o desenvolvimento teórico dos conceitos apresentados das páginas anteriores.

Para representar tais características, com relação às abordagens do conhecimento químico, apresenta-se na Figura 24 o trecho do capítulo que introduz o conceito álcool e faz considerações sobre a nomenclatura de compostos dessa função.

Figura 24 – Abordagem do conceito álcool na obra B


1 Álcoois

A palavra álcool em geral se refere a um composto específico, o álcool etílico ou etanol (álcool comum), embora, em Química, álcool seja o nome de uma extensa classe de compostos.

* Carbono saturado: aquele que só faz ligações simples.

$$\begin{array}{c} \text{O}-\text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$$

Fórmula estrutural do metanol



Álcool é todo composto orgânico que apresenta um grupo hidroxila, —OH, ligado a um carbono saturado*.

Grupo funcional:

$$\begin{array}{c} \text{O}-\text{H} \\ | \\ \text{C} \\ | \\ \text{---} \end{array}$$

O nome oficial (Iupac) de um álcool segue o esquema:

prefixo + infixo (geralmente an) + ol

Observe os exemplos a seguir:

propan-2-ol $\begin{array}{c} \text{OH} \\ | \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{H} \end{array}$

butan-1-ol $\text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{OH}$
 $\quad \quad \quad | \quad | \quad |$
 $\quad \quad \quad \text{H}_2 \quad \text{H}_2 \quad \text{H}_2$

Fonte: Fonseca (2013, p. 88).

Ao analisar a Figura 24, nota-se que o texto introduz o conceito álcool de maneira objetiva e teórica, relacionando o novo conceito apenas com o conhecimento de cadeia carbônica e grupo hidroxila. Como meio de representar a teoria, a autora insere uma figura que representa um exemplo de um composto orgânico dessa função, o metanol. Na sequência, é apresentado o método de nomenclatura de álcoois de modo também objetivo e reducionista, usando representações, que nesse trecho são as fórmulas estruturais das moléculas de propan-2-ol e butan-1-ol. Ao relacionarmos a linguagem presente nesse trecho com as abordagens do conhecimento químico, infere-se que apenas as abordagens teórica (microscópica) e representacional (simbólica) estão presentes no texto, havendo uma importante carência na abordagem fenomenológica (macroscópica) dos conhecimentos propostos. As substâncias alcoólicas utilizadas como exemplos para a teoria apresentada, presentes de modo simbólico, não apresentam nenhuma propriedade macroscópica ao estudante que lerá o texto. Como alternativa de abordar os compostos apresentados de modo macroscópico, seria interessante apresentar situações em que tais álcoois têm importância, como exemplificar o metanol como combustível para foguetes, o propan-2-ol como solvente industrial e o butan-1-ol como componente de perfumes, entre outros.

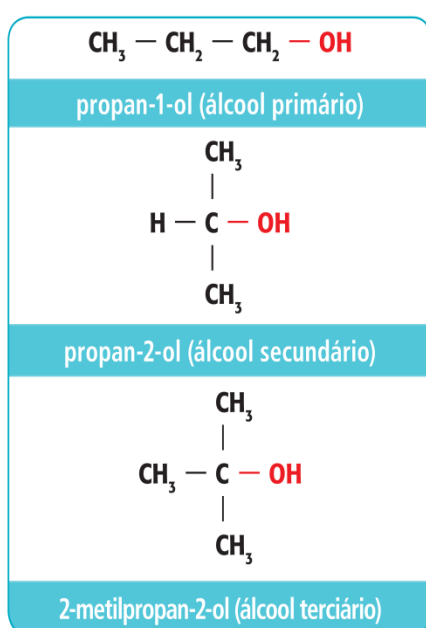
Em suma, o capítulo da obra **B**, que aborda os conhecimentos relacionados com a função orgânica Álcool, apresenta divergências com a teoria de Johnstone (1993) e com pressupostos de Mortimer, Machado e Romanelli (2000) sobre as abordagens do conhecimento químico. No decorrer do capítulo, não há a abordagem fenomenológica dos conceitos, gerando discussões essencialmente teóricas (natureza microscópica) dos conhecimentos, nem estão vinculadas com contextos, em geral, de estudantes da Educação Básica. Essa situação exige que o professor faça mediação no uso do livro didático, envolvendo outros recursos pedagógicos para propiciar aos estudantes experiências mais complexas sobre a *Função Álcool*. Nessa obra, as abordagens teóricas e representacionais são centrais, devido à ausência da abordagem fenomenológica. Por isso, há excesso de uso de símbolos e explicações teóricas.

A obra **C** apresenta os conhecimentos sobre a *Função Álcool* no capítulo denominado “Alimentos e funções orgânicas”, especificamente no subtítulo

“Álcoois” (SANTOS; MÓL, 2013, p. 66). Ao analisar esse capítulo, é evidente a semelhança com características da obra **B**, pois novamente a abordagem fenomenológica não está presente ao longo do tópico. A linguagem não apresenta característica tão superficial quanto na obra anterior, no entanto, a prioridade de uma abordagem teórica pode não propiciar aos estudantes o estabelecimento de vínculos entre a teoria e os fenômenos comuns e macroscópicos. Outra característica semelhante é a intenção de finalizar o tópico com algumas aplicações de álcoois, não havendo associação com o desenvolvimento teórico dos conhecimentos. A seguir, apresenta-se a Figura 25, que mostra a classificação de álcoois com relação ao carbono em que a hidroxila realiza interação.

Figura 25 – Abordagem da classificação de álcoois na obra C

Classificação dos álcoois



O representante mais simples da família dos álcoois é o metanol (CH_3OH). Os álcoois diferentes do metanol podem ser classificados em primários, secundários ou terciários. Um álcool é considerado primário quando a hidroxila está ligada a um carbono primário, isto é, um carbono ligado a apenas um átomo de carbono. Já no álcool secundário a presença da hidroxila é no carbono secundário, carbono esse ligado a outros dois átomos de carbono; e no álcool terciário está ligada a um carbono terciário, o qual se encontra ligado a outros três átomos de carbono. O etanol ou álcool etílico $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ é um exemplo de álcool primário. Já no propan-2-ol (álcool isopropílico), o grupo $-\text{OH}$ está ligado a um carbono secundário, daí ele ser um álcool secundário. Um exemplo de álcool terciário é o 2-metilpropan-2-ol.

Essa classificação dos álcoois em primário, secundário e terciário é adotada no estudo da Química Orgânica em função da previsão de suas propriedades químicas e físicas, já que elas variam de acordo com as características do carbono ao qual a hidroxila está ligada.

Os álcoois também podem ser classificados em função da quantidade de hidroxilas presentes nas moléculas. Quando há apenas uma hidroxila na molécula, temos um monoálcool ou, simplesmente, álcool; se houver duas hidroxilas, usamos a denominação “glicol” ou “diol”; para três hidroxilas, o termo triol pode ser empregado; e para uma molécula com mais de três hidroxilas, teremos um poliálcool ou poliálcool.

Fonte: Santos e Mól (2013, p.70).

Ao discutir o modo de classificar os álcoois, em função do carbono que a hidroxila está associada, os autores iniciam a discussão do conteúdo, privilegiando a abordagem teórica do conhecimento químico. Ao lado do texto,

são apresentadas fórmulas estruturais de álcoois como exemplos das categorias discutidas, evidenciando a abordagem representacional das classificações referidas. Entretanto, assim como na obra **B**, não há situações macroscópicas para análise, desfavorecendo possíveis relações do conteúdo com fenômenos comuns aos estudantes de Educação Básica. A ausência de aspectos fenomenológicos no tópico pode gerar dificuldades de compreensão do assunto, pois a classificação de álcoois é um processo abstrato. Ao relacionar um conhecimento abstrato com o fenômeno, a aprendizagem fica favorecida pelo significado que o estudante pode dar ao observado.

Concluindo, o capítulo que aborda os conhecimentos relacionados com à *Função Álcool* da obra **C**, assim como o capítulo da obra **B**, diverge com os pressupostos de Johnstone (1993) e de Mortimer, Machado e Romanelli (2000) com relação às abordagens do conhecimento químico. No tópico, estão presentes propriedades que privilegiam as abordagens teórica e representacional, nas não a fenomenológica. Somente ao final do tópico, há referência a exemplos associados a aplicações de algumas substâncias dessa função, mas não propostas de natureza experimental. Esse fato implica a necessidade de o professor buscar alternativas para associá-las ao livro didático, oportunizando uma aula mais abrangente sobre o conhecimento químico em estudo.

É importante destacar, que mesmo não estando presente a abordagem fenomenológica no tópico sobre Álcoois da obra **D**, observa-se um diálogo adequado entre as abordagens teórica e representacional.

Na obra **D**, os conhecimentos relacionados à *Função Álcool* estão em um capítulo intitulado “Funções oxigenadas”, mais especificamente, no tópico “Álcoois e enóis” (ANTUNES, 2013, p. 58). Nesse texto, a linguagem é mais complexa em relação aos tópicos analisados nas obras **B** e **C**, mas com característica mais simples, ao comparar-se com o capítulo da obra **A**. Os autores optam por introduzir os novos conceitos por meio de inserções teóricas relacionadas com representações simbólicas de natureza simples e objetiva. Todavia, diferente dos dois últimos tópicos analisados, há situações em que são referidos exemplos práticos de substâncias citadas no texto. Um exemplo dessa característica é a introdução do modo correto da nomenclatura de diálcoois e triálcoois. Esse trecho é apresentado na Figura 26.

Para iniciar essa abordagem de nomear compostos orgânicos que possuem mais de um grupo hidroxila (OH), associados à cadeia carbônica principal, os autores iniciam o texto com uma inserção teórica e simbólica, simultaneamente. Como exemplos, são representadas as moléculas de etano-1,2-diol, propano-1,2,3-triol e butano-1,3-diol.

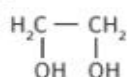
Figura 26 – Abordagem da nomenclatura de diálcoois e triálcoois da obra D

Nomenclatura dos dialcoóis e triálcoóis

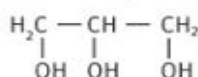
A nomenclatura Iupac para alcoóis contendo dois ou mais grupos OH segue a estrutura abaixo.

prefixo + infixo + prefixo de quantidade + ol

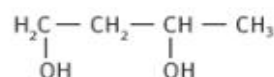
A numeração da cadeia deve começar pela extremidade mais próxima do grupo hidroxila. Veja alguns exemplos.



etano-1,2-diol



propano-1,2,3-triol



butano-1,3-diol

Se você comparar o infixo desses alcoóis e dos monoalcoóis, perceberá que no primeiro caso houve a adição da letra **o** após o nome do infixo. Segundo as regras de nomenclatura Iupac, haverá acréscimo da vogal **o** ao infixo sempre que o prefixo de quantidade iniciar com uma consoante.

O etano-1,2-diol, também conhecido como **etilenoglicol**, é um diálcool utilizado em radiadores automotivos. Com a adição dessa substância à água é possível diminuir a temperatura de congelamento. Com isso, é possível que veículos funcionem em regiões muito frias, onde a temperatura ambiente é menor que a temperatura de solidificação da água (0 °C a 1 atm).

O propano-1,2,3-triol, também conhecido como **glicerol** ou **glicerina**, é um triálcool com diversas aplicações na indústria, como a produção de resinas sintéticas e gomas de éster; utilização em produtos cosméticos, alimentícios, farmacêuticos (remédios); entre outras.

Fonte: Antunes (2013, p.70).

Após finalizar a discussão sobre nomenclatura de diálcoois e triálcoois, os autores realizam uma abordagem fenomenológica dos compostos usados como exemplos anteriormente, inserindo na discussão as utilidades do etilenoglicol (etano-1,2-diol) e do glicerol (propano-1, 2,3-triol). Ao relacionar as três abordagens do conhecimento químico, este capítulo pode propiciar uma aprendizagem complexa aos estudantes da Educação Básica, pois o texto não

apresenta apenas definições teóricas do conhecimento, mas também situações macroscópicas vinculadas ao mundo dos estudantes.

Em síntese, o capítulo que aborda os conhecimentos sobre *Função Álcool* da obra **D** converge parcialmente com os preceitos de Johnstone (1993) e de Mortimer, Machado e Romanelli (2000) sobre as abordagens do conhecimento químico. As abordagens teórica e representacional estão presentes na redação do texto de modo similar aos capítulos analisados anteriormente, pois o uso de figuras e imagens pode funcionar como complemento da teoria. A abordagem fenomenológica está parcialmente presente no capítulo, pois apenas em alguns casos há exemplos de situações que podem favorecer o entendimento dos estudantes nessa perspectiva. No entanto, é evidente uma linguagem que visa a contextualizar os conhecimentos discutidos nos textos.

Ao término da análise de todos os capítulos que abordam os conhecimentos sobre *Função Álcool* das obras aprovadas no PNLD 2015, identificaram-se características diversas em relação às abordagens do conhecimento químico, propostos por Johnstone (1993) e por Mortimer, Machado e Romanelli (2000). Dos quatro capítulos, apenas a obra **A** se aproxima à teoria proposta pelos autores, enquanto os outros capítulos apresentaram deficiências vinculadas à abordagem fenomenológica, de modos parcial ou total. O Quadro 7 apresenta uma síntese dessa análise.

Quadro 7 – Abordagens do conhecimento químico nos textos analisados sobre *Função Álcool*

Obra	Abordagem Fenomenológica	Abordagem Teórica	Abordagem Representacional
A	Presente	Presente	Presente
B	Ausente	Presente	Presente
C	Ausente	Presente	Presente
D	Parcialmente	Presente	Presente

Fonte: Organizado pelo autor.

Concluindo, em relação às abordagens do conhecimento químico, apenas o capítulo analisado da obra **A** apresenta a fenomenológica, a teórica e a representacional. O capítulo da obra **D** se aproxima da obra **B**, mas é frágil a abordagem fenomenológica. Os capítulos das obras **B** e **C** não apresentam

abordagem fenomenológica relevante nos textos analisados, centrando o estudo nas abordagens teórica e representacional.

A abordagem teórica (microscópica) esteve presente em todos os capítulos analisados nesta etapa da investigação, sendo o principal modo de apresentar os conceitos referentes à *Função Álcool* nos capítulos das obras **B**, **C** e **D**.

As abordagens representacional (simbólica) e teórica (microscópica) estão presentes em todos os capítulos analisados, mas com características diferentes. Na obra **A**, a abordagem representacional tem função de mediar as abordagens teórica e fenomenológica; nas obras **C** e **D**, o uso de símbolos age como um complemento dos textos teóricos; e na obra **B**, o uso de símbolos alterna entre complemento ou justificativa da teoria, devido a uma linguagem superficial e objetiva.

A seguir, analisa-se, em relação à *Função Álcool*, a construção de representações mentais, fundamentadas em Peirce (1974).

5.3.2 Análise das representações mentais sobre Função Álcool nas obras investigadas

Nesta fase da investigação, os capítulos dos livros aprovados no PNLD de 2015, do componente Química, foram analisados com base nos estudos de Peirce (1974), relativos às representações mentais. Essa análise envolvendo os conhecimentos relacionados à função orgânica Álcool, visa a compreender como tais textos podem propiciar aos estudantes construções de representações mentais dos conceitos ali presentes. Ao analisar os capítulos, foi possível compreender que os modos de escrita adotados pelos autores podem interferir na construção de representações mentais, tendo o pensamento de Peirce como fundamento, no qual há necessidade da presença das etapas da *primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade* (*Ibid*).

Ao realizar a investigação, observou-se que, de modo geral, todas as obras analisadas podem propiciar processos de representação mental pelos estudantes por meio dessas etapas. Porém, algumas deficiências em contextualizações macroscópicas e comuns a um estudante da Educação Básica podem gerar dificuldades ao sujeito nos momentos pertencentes às

etapas da *primeiridade* e *secundidade*. Esse fato pode ser justificado devido a essas etapas exigirem criações de primeiras impressões (representações pouco complexas) e a relação com representações já estabelecidas pelo estudante.

Por meio da teoria de Peirce (1974), para formação de representações mentais, o capítulo “A Química das drogas e medicamentos e as funções orgânicas” (MORTIMER; MACHADO, 2013, p. 10), pertencente à obra **A** mostra uma adequação do texto à referida teoria. Esse capítulo é o único dos quatro analisados que apresenta uma introdução dos conceitos, envolvidos com *Função Álcool*, de modo simples e com exemplos comuns a estudantes da Educação Básica. Essa característica de escrita pode propiciar uma formulação inicial de uma representação rústica, mas correta dos conceitos apresentados no capítulo. Essa propriedade de escrita pode ser um intermédio para a *primeiridade*, pois essa é a etapa em que o sujeito cria sua primeira impressão de um fenômeno, não tendo grande nível de abstração ou complexidade (PEIRCE, 2005).

Após uma introdução simples e contextualizada dos conhecimentos sobre álcoois, os autores iniciam uma abordagem teórica dos conhecimentos, visando a relacionar os novos conceitos com outros já vistos pelos estudantes. Essa ação pode propiciar a segunda etapa da formação de uma representação mental (*secundidade*), pois nesse estágio o sujeito necessita relacionar a nova representação, que está em desenvolvimento, com as já estabelecidas, aumentando a complexidade do processo iniciado na *primeiridade*.

Como fechamento das discussões presentes sobre *Função Álcool*, os autores optaram por realizar pequenas conclusões após o desenvolvimento das teorias, variando de modos simbólicos a simplesmente linguagem escrita. Essa propriedade converge com a *terceiridade*, última etapa para a formação de uma representação mental. Na última etapa, estágio de conclusão da representação e criação de novos signos, é a fase de impor leis para reger o fenômeno a ser compreendido, na sua complexidade (PEIRCE, 2005).

O trecho do capítulo sobre reação de combustão do etanol apresentado na Figura 23 (destacado na sessão anterior) pode ser um exemplo de tais características. Inicialmente, os autores contextualizam e mostram a importância do uso de etanol como combustível alternativo à gasolina, devido

ao prejuízo que a queima do combustível fóssil causa ao meio ambiente. Ao iniciar a discussão com uma contextualização simples, o texto pode propiciar a *primeiridade*, pois fornece características qualitativas e simples da combustão do etanol, gerando uma primeira impressão. Na sequência, são inseridos na discussão novos conceitos, mas havendo relações com conceitos presentes em capítulos anteriores, como hidrocarbonetos. Essa propriedade propiciaria a *secundidade*, pois vincula um conhecimento em fase de construção com um já estabelecido pelo sujeito. No final do texto, são representadas as equações químicas das combustões da gasolina e do etanol, demonstrando quais são os produtos formados e qual a energia liberada no processo. Ao concluir a discussão com a representação do processo de combustão, o sujeito pode atingir o estágio da *terceiridade*, pois passa a compreender a natureza do fenômeno, representado de modo simples nas outras etapas, e a lei que o rege.

Em resumo, o capítulo que aborda os conhecimentos sobre a *Função Álcool* da obra **A** propicia características para a formulação de uma representação mental adequada, favorecendo todas as etapas estipuladas por Peirce (1974). Essa propriedade favorável pode ser justificada a uma linguagem complexa, que visa a contextualizações dos conceitos apresentados de modo comum aos estudantes do Ensino Médio.

Em sequência, foi analisado o capítulo “Funções oxigenadas” (REIS, 2013, p. 86), pertencente à obra **B**. Assim como nos demais capítulos dessa obra, observa-se o emprego de uma linguagem superficial para definir os principais contextos abordados, conduzindo a definições reducionistas. De modo geral, os conhecimentos relacionados à *Função Álcool* são raramente relacionados com outros conceitos discutidos anteriormente na obra ou com situações comuns aos estudantes da Educação Básica.

Ao relacionarmos a escrita do capítulo com o primeiro estágio da formação de uma representação mental, a *primeiridade*, percebe-se uma divergência significativa entre o texto e teoria de Peirce. Ao optar por uma proposta pouco contextualizada, o capítulo da obra **B** pode não fornecer os suportes necessários para o estudante formar uma representação inicial, e simples, dos fenômenos apresentados. Assim como a *primeiridade*, o capítulo também não apresenta características favoráveis para a formação da

secundidade. Essa propriedade é justificada por uma ausência de vínculos entre os novos conceitos com outros já apresentados em capítulos anteriores. Devido a uma carência significativa nas características necessárias para a formação da representação mental, em seus dois primeiros estágios, isso pode comprometer o último estágio, a *terceiridade*, pois essa exige a formação das etapas anteriores de modo satisfatório.

Como exemplo dessa característica não favorável, na figura 24 (presente na sessão anterior), na qual é apresentada a definição do conceito Álcool e uma introdução de compostos pertencente a essa função orgânica, identifica-se uma abordagem excessivamente simplista e reduzida. Assim, não são apresentadas propriedades comuns aos estudantes e relações com conhecimentos discutidos anteriormente. Essa característica do texto desta obra não contribui para o processo de representação mental, mesmo apresentando diversos símbolos.

Em resumo, o capítulo que aborda os conhecimentos relacionados com a função orgânica Álcool da obra **B** não propicia fatores para a formação de representações mentais, por parte dos estudantes, devido à linguagem empregada ser de natureza superficial, reducionista e pouco contextualizada. Essa característica exigirá do professor, em sua mediação, relacionar o livro didático com outros recursos pedagógicos de modo a propiciar, aos estudantes, vivências mais contextualizadas e significativas.

A obra **C** apresenta os conhecimentos sobre *Função Álcool* no capítulo denominado “Alimentos e funções orgânicas”, especificamente no subtítulo “Álcoois” (SANTOS; MÓL, 2013, p. 60). Nesse texto, assim como na obra **B**, os conceitos abordados apresentam deficiência em relação à contextualização, havendo uma carência em relação aos conhecimentos discutidos com fenômenos comuns aos estudantes da Educação Básica. No entanto, comumente são apresentadas relações entre os conceitos e outros já discutidos em capítulos anteriores, característica favorável para a representação mental.

Com relação à *primeiridade*, a ausência de contextualizações comuns ao sujeito pode gerar dificuldades para a constituição da representação mental, pois esse estágio exige a construção de uma primeira impressão do fenômeno, requisitando dados da fácil compreensão e abstração (PEIRCE, 2005).

Todavia, o mesmo capítulo apresenta características favoráveis à *secundidade*, pois a presença de vínculos entre novos conceitos e aprendizados anteriores privilegia um aumento da complexidade da primeira impressão construída na *primeiridade*.

Com relação à última etapa para a construção de uma representação mental, a *terceiridade*, o texto também apresenta propriedades adequadas, usando linguagens textuais e simbólicas como conclusões das definições apresentadas.

A Figura 25 (presente na sessão anterior), que demonstra a abordagem sobre classificação de álcoois, apresenta as características descritas em relação às representações mentais. Nesse texto, os autores não contextualizam o assunto, dificultando aos estudantes a formação de uma primeira impressão, a *primeiridade*, o que exige importante mediação do professor. Mesmo assim, o uso de conceitos apresentados anteriormente na mesma obra (classificação de carbonos primários, secundários e terciários) pode propiciar uma complexificação da representação em construção, levando à *secundidade*. Como auxílio para a compreensão da classificação abordada, o uso de fórmulas estruturais (representação simbólica) pode auxiliar num processo de abstração do conhecimento, gerando a *terceiridade*.

Em suma, o capítulo que aborda os conhecimentos sobre *Função Álcool* da obra **C** converge parcialmente com a teoria de representação mental de Peirce (1974). O texto desse capítulo apresenta uma linguagem mais detalhada em relação ao capítulo da obra **B**, mas também não faz referência a contextos significativos para estudantes da Educação Básica, podendo dificultar a formação da *primeiridade*. Essa dificuldade pode ser amenizada pela mediação do professor, apresentando situações que relacionem a teoria do livro didático com o cotidiano dos estudantes. Ao comparar com a *secundidade* e *terceiridade*, conclui-se que o capítulo apresenta características adequadas associadas a essas etapas para a formação de uma representação mental.

O capítulo da obra **D** que aborda os conhecimentos relacionados é intitulado “Funções oxigenadas”, mais especificamente, no tópico “Álcoois e enóis” (ANTUNES, 2013, p.58). Ao comparar o modo de escrita do tópico com os pressupostos de Peirce (2005), é visto uma relação construtiva entre os dois conhecimentos. A linguagem apresentada no tópico possui características

favoráveis a todas as etapas para a formação de uma representação mental, havendo um constante uso de contextualizações simples e comuns a estudantes da Educação Básica. Entretanto, em algumas situações o uso de contextualizações mal localizadas ou pouco comuns aos estudantes, que pode gerar algumas situações adversas à compreensão dos novos conceitos.

Na Figura 26 (presente na sessão anterior), na qual é abordado o processo de nomenclatura de álcoois que possuem duas ou mais hidroxilas em sua estrutura, é possível perceber algumas características favoráveis à construção de uma representação mental. Com relação à *primeiridade*, na escrita do texto, há aspectos importantes para o sujeito formular uma primeira ideia do que são poliálcoois e como eles podem se apresentar no cotidiano deles. Um aspecto negativo é a presença desses aspectos somente no final do texto.

Com relação à *secundidade*, o texto também apresenta propriedades favoráveis a essa etapa. Ao introduzir as regras de nomenclatura desses álcoois, os autores relacionam o novo conhecimento com o modo de nomenclatura de monoálcoois, conhecimento discutido em um texto anterior do mesmo tópico. Ao relacionar o novo conhecimento com outro já apresentado aos estudantes, o texto pode possibilitar aos discentes realizar vínculos da nova representação mental em formação com outras já possivelmente consolidadas.

A etapa finalizadora do processo de formação de uma representação mental, a *terceiridade*, também pode ter seu desenvolvimento favorecido no tópico analisado, por meio da presença das fórmulas estruturais dos álcoois discutidos. Todavia, os autores apresentam essas fórmulas logo no início do texto, implicando que o estudante tenha que ler o texto após os símbolos para iniciar o processo de formação da representação mental.

De modo geral, os textos que abordam os conhecimentos relacionados com a *Função Álcool* na obra **D** apresentam propriedades convergentes à teoria de formação de representações mentais de Peirce (2005), pois é apresentada uma linguagem adequada para poder propiciar aos estudantes da Educação Básica as formações da *primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade*.

Ao término da análise de todos os capítulos que abordam os conhecimentos sobre *Função Álcool* das obras aprovadas no PNLD 2015,

identificaram-se características diversas com relação ao modo em que os textos podem propiciar condições para formação de representações mentais aos estudantes. Após a análise, foi identificado que os textos das obras **A** e **D** (principalmente **A**) foram os que apresentaram linguagens mais adequadas para poder facilitar a formação das três etapas necessárias para a formação da representação. Os textos da obra **C** apresentam deficiências, em alguns casos, em características adequadas com a *primeiridade*, pois não apresentam contextualizações relevantes dos conhecimentos aos estudantes, baseando as discussões em fundamentos teóricos e simbólicos. Os textos da obra **B** apresentaram as propriedades mais adversas aos pressupostos de Peirce (1974). A linguagem presente no capítulo analisado não apresenta características que possam apoiar os estudantes no processo de formação de uma representação mental sobre conhecimentos relacionados à *Função Álcool*, devido à linguagem reducionista e simplória presentes na redação.

A seguir, será demonstrada a análise dos obstáculos epistemológicos presentes nos livros de Química aprovados no PNLD de 2015, relacionado com conhecimentos sobre *Função Álcool*, classificando os mesmos nas categorias propostas por Bachelard (1996).

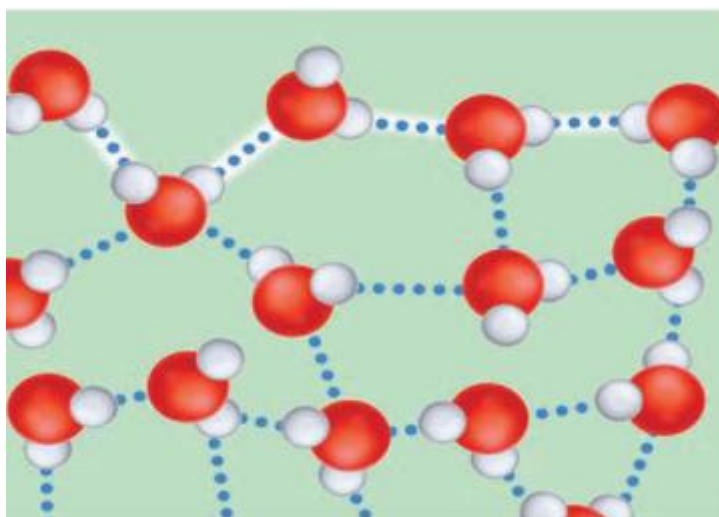
5.3.3 Análise dos obstáculos epistemológicos em capítulos de Função Álcool

Nesta sessão, é apresentada uma análise que visou identificar a presença de obstáculos epistemológicos nos capítulos que abordam os conhecimentos sobre *Função Álcool* das obras aprovadas no PNLD de 2015 e compreender possíveis efeitos prejudiciais desses obstáculos para as aprendizagens dos conhecimentos abordados. Essa análise baseou-se nos pressupostos de Gastón Bachelard (1996), que compreende obstáculos epistemológicos como impedimentos a processo de compreensão de conceitos em diversos modos de linguagens, como símbolos, textos e discursos.

Dos textos analisados, apenas o capítulo da obra **B**, intitulado Funções Oxigenadas (REIS, 2013, p. 86), apresentou um caso de obstáculo epistemológico. Na página 88, no texto que aborda o mecanismo de ação de forças intermoleculares, especialmente ligações de hidrogênio, é inserida uma

figura que simularia a interação entre moléculas de água (H_2O). Nessa imagem, há uma representação de interações entre átomos de hidrogênio e oxigênio, no entanto, apresenta átomos iguais interagindo entre si, um equívoco conceitual que pode acarretar em um *obstáculo primeiro*. Essa abordagem é demonstrada na Figura 27.

Figura 27 – Abordagem de ligações de hidrogênio da obra B



Ligações de hidrogênio na água

Fonte: Fonseca (2013, p.88).

Ao analisar a figura, os estudantes podem compreender que átomos do mesmo elemento podem realizar interações do tipo ligações de hidrogênio, formando um aprendizado errôneo desse fenômeno.

Os textos das demais obras não constaram nenhum obstáculo epistemológico que possa ser relevante, mesmo havendo linguagens e contextualizações mais complexas que a obra **B**.

Em conclusão, somente o capítulo que aborda os conhecimentos sobre a função orgânica Álcool da obra **B** apresentou situação de obstáculo epistemológico, nesse caso, da categoria *obstáculo primeiro*. Os textos das obras **A**, **C** e **D** não apresentaram nenhum obstáculo baseado nos pressupostos de Bachelard (1996).

5.3.4 A Função Álcool nos livros didáticos do PNLD 2015: uma síntese

A partir das análises realizadas nos capítulos que abordam os conhecimentos sobre *Função Álcool* nos livros didáticos de Química no PNLD de 2015, foi observado que os textos presentes nas obras **A** e **D** apresentam propriedades positivas referentes às abordagens do conhecimento químico e aspectos sobre representações mentais.

A obra **A**, por apresentar uma linguagem adequada aos estudantes da Educação Básica, foi a única obra que apresenta características convergentes aos pressupostos de (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000), havendo referências a aspectos fenomenológicos, teóricos e simbólicos dos conceitos abordados. Em relação à representação mental, os textos possuem características favoráveis para todas as etapas da formação da mesma.

A obra **C**, mesmo havendo uma linguagem similar a obra **A**, apresenta algumas deficiências referentes à abordagem fenomenológica, havendo casos de deficiências de contextualizações macroscópicas dos conceitos presentes. Do mesmo modo, há déficits em propriedades que possam propiciar aos estudantes a formação da *primeiridade*, primeira etapa para a representação mental.

Os capítulos sobre *Função Álcool* das obras **B** e **C** apresentam as características mais desfavoráveis aos pressupostos de Johnstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000), no qual não há contextualizações macroscópicas dos conceitos discutidos. Em ambas as obras, a ausência de uma abordagem fenomenológica consistente pode gerar uma dificuldade relacionada com a *primeiridade*, pois não apresenta aspectos comuns aos estudantes, prejudicando uma primeira impressão dos conhecimentos.

Com relação à existência de obstáculos epistemológicos, baseados em Bachelard (1996), nos textos analisados, apenas o capítulo da obra **B**, apresentou algum caso. Esse obstáculo, da categoria *obstáculo primeiro*, não gera grandes prejuízos para o desenvolvimento dos conceitos presentes nos textos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avanço das tecnologias, relacionado aos recursos didáticos, propiciaram diversas inovações nos métodos de ensino de Química em escolas de Educação Básica. No entanto, mesmo nesse panorama, os livros didáticos continuam sendo uma das principais ferramentas de apoio aos professores e estudantes nos processos de ensino e de aprendizagem. Nessa perspectiva, os livros didáticos necessitam apresentar propriedades que favoreçam a compreensão dos conceitos relacionados ao conteúdo, objeto de estudo nas diversas áreas, em especial, na Química, de modo a propiciar aos estudantes a formação de representações corretas dos conceitos abordados, evitando possíveis obstáculos para a aprendizagem.

Um dos parâmetros para analisar a qualidade dos livros didáticos, tendo em vista o processo de aprendizagem, consiste na *abordagem do conhecimento químico*. Para balizar essa análise, foram utilizados os pressupostos de Johnstone (1993), complementado por Mortimer, Machado e Romanelli (2000) sobre as abordagens do conhecimento químico.

Outro parâmetro considerado nesta pesquisa é a relação entre a linguagem utilizada na redação dos livros didáticos e a teoria de formação de *representações mentais* de Peirce (1976). Devido à importância do livro didático como recurso de estudo, em alguns casos como única ferramenta, é desejável que a linguagem apresentada nesses materiais contribua para a construção de representações ou modelos mentais dos conhecimentos estudados.

Um terceiro parâmetro analisado na investigação está associado a obstáculos para aprendizagem, pois é possível que no decorrer dos textos haja a presença de impedimentos para a aprendizagem dos conceitos químicos, podendo estar contidos em textos, símbolos ou imagens. Esses impedimentos, nomeados por Bachelard (1996) de *obstáculos epistemológicos*, que podem ser caracterizados como dificuldades externas ao sujeito capazes de impedir ou dificultar o processo de aprendizagem.

Partindo desse panorama, a presente investigação teve como base a seguinte pergunta: ***De que modo capítulos dos livros de Química do PNL***

2015 mostram-se adequados em relação às abordagens do conhecimento químico, às representações mentais e aos obstáculos epistemológicos?

Para responder à questão de pesquisa, foram investigados esses três focos a partir da análise de capítulos das obras de Química aprovadas no Programa Nacional do Livro Didático 2015. Portanto, procedeu-se um recorte dessas obras, de modo a analisar os capítulos relacionados às “*Reações Químicas*”, à “*Cinética Química*” e à função “*Álcool*”. Essa análise ateve-se, respectivamente, aos pressupostos de Johnstone (1993), complementado por Mortimer, Machado e Romanelli (2000) sobre as abordagens do conhecimento químico, à teoria de representação mental de Peirce e aos obstáculos epistemológicos em Bachelard (1996).

Em relação à *abordagem do conhecimento químico*, foram reconhecidos os conhecimentos presentes nos capítulos das obras analisadas por meio de elementos fenomenológicos (macroscópicos), teóricos (microscópicos) e representacionais (simbólicos). Sobre os primeiros textos analisados, relacionados aos conhecimentos sobre *Reações Químicas*, evidenciam-se resultados positivos, de modo que as abordagens teórica e representacional estão presentes em todas as obras de modo satisfatório, atendendo aos requisitos propostos pelos autores. Todavia, a abordagem fenomenológica não esteve presente em todas as obras. Os capítulos analisados da obra **D** não possuem características necessárias para concluir que há indícios de aspectos fenomenológicos em sua proposição didática. Essa situação pode ser justificada pela ausência de contextualizações e exemplificações relevantes para estudantes da Educação Básica, ao discutir os principais conceitos químicos, havendo o uso de exemplos de caráter excessivamente laboratorial para demonstrar de modo macroscópico os conhecimentos sobre *Reações Químicas*.

Os textos analisados em sequência foram referentes aos conhecimentos sobre *Cinética Química*. Diferentemente dos textos sobre *Reações Químicas*, nesses capítulos foram obtidos resultados diferentes entre as quatro obras analisadas. A obra **A** é a única em que o capítulo sobre *Reações Químicas* apresenta elementos das três abordagens. As demais mostram fragilidades na abordagem fenomenológica. As obras **C** e **D** possuem parcialmente características relacionadas com a abordagem fenomenológica. Em alguns

casos, conceitos importantes relacionados às *Reações Químicas* são discutidos de modos essencialmente teórico e representacional, não apresentando contextos macroscópicos aos estudantes na abordagem desses conhecimentos.

Em relação ao tema *Cinética Química*, a obra **B** não possui situações fenomenológicas relevantes na obra. Nos textos analisados, a autora discute os conhecimentos de modo teórico, não utilizando contextos macroscópicos na abordagem dos conhecimentos, podendo dificultar o processo de aprendizagem.

De modo geral, com exceção da obra **A**, as demais obras apresentam fragilidades referentes à abordagem fenomenológica dos conhecimentos sobre *Cinética Química*, pois não são usados, com frequência, contextos relevantes ou sugestões de experimentações de fácil execução para contextualizar os conceitos químicos.

Em relação à *Função Álcool*, os capítulos analisados apresentam resultados similares aos de *Cinética Química*. Novamente, apenas os textos da obra **A** possuem características em sua redação que propiciam as três abordagens possíveis, enquanto as demais demonstram fragilidades na perspectiva da abordagem fenomenológica.

A obra **D** possui, de modo inconstante, características fenomenológicas nos seus textos, havendo situações em que apenas as abordagens teórica e representacional estão presentes, não propiciando uma triangulação entre todos as abordagens propostas por Johnstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000).

As obras **B** e **C** não abordam os conhecimentos sobre *Função Álcool* de modo fenomenológico, restringindo-se às abordagens teórica e representacional na sua totalidade. Essa situação pode dificultar a compreensão dos conhecimentos sobre essa função orgânica.

Resumindo, em relação à abordagem do conhecimento, após as análises em todos os textos programados para esta investigação, é evidenciado que apenas a obra **A** atende, em todos os capítulos analisados, os pressupostos de Johnstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000) sobre as abordagens do conhecimento químico. Esse resultado pode ser um indicador que essa obra apresenta a abordagem mais completa dos

conhecimentos químicos entre as quatro obras analisadas. Nesta mesma análise, foi possível compreender que o material didático elaborado por Mortimer e Machado está conciso com a obra dos mesmos autores relacionados às abordagens do conhecimento químico.

A obra **B** teve os piores resultados nessa etapa da análise, pois em dois capítulos (*Cinética Química* e *Função Álcool*) não houve indícios de aspectos fenomenológicos em sua redação, tendo apenas as abordagens teórica e representacional como métodos para abordar os conhecimentos químicos.

A obra **D** possui as abordagens teórica e representacional de modo satisfatório nos textos analisados. Porém, a abordagem fenomenológica varia entre presença parcial (*Cinética Química* e *Função Álcool*) e ausência (*Reações Químicas*) nos textos analisados.

A obra **C**, assim como as demais, possui as abordagens teórica e representacional em todos os capítulos, mas fragilidades em relação à abordagem fenomenológica. Essa coleção de livros didáticos não apresentou essa abordagem nos textos sobre *Função Álcool* e de modo parcial dos textos sobre *Cinética Química* e de modo satisfatório nos textos sobre *Reações Químicas*. Esses resultados demonstram uma inconstância com relação aos pressupostos de Johnstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000) sobre as abordagens do conhecimento químico.

A segunda etapa da análise consistiu em investigar a relação entre a linguagem presente nas obras de Química aprovadas no PNLD 2015 e a teoria semiótica de Peirce (1976). Partindo dessa teoria sobre a formação de representações mentais por parte dos sujeitos, na análise foram considerados os livros didáticos como recursos pedagógicos que podem facilitar a construção de representações mentais dos conhecimentos químicos pelos estudantes da Educação Básica.

Assim como nas demais análises realizadas nesta investigação, esta etapa foi organizada em função dos capítulos pré-estabelecidos, nos quais são abordados os conhecimentos sobre *Reações Químicas*, *Cinética Química* e *Função Álcool*. Nesses textos, buscou-se identificar características que pudessem contribuir para a construção da representação mental dos conceitos estudados, denominadas *primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade* (*Ibid*).

Nos primeiros textos analisados, sobre *Reações Químicas*, houve resultados positivos referentes ao processo de representação mental. As obras **A** e **C** possuem as características que melhor convergem com a teoria de Peirce, pois os textos dessas obras demonstraram propriedades favoráveis relacionadas a todas as etapas da formação de uma representação mental. Os artigos analisados da obra **B** apresentam fragilidades referentes ao processo de *secundidade*, pois em poucas situações realiza vínculos entre a representação em construção com representações já consolidadas pelos estudantes como conhecimentos discutidos em capítulos anteriores do livro didático.

A obra que obteve os piores resultados foi a coleção **D**. Os textos dessa obra não contêm propriedades que contribuam para formar uma representação mental, em relação à *primeiridade*, devido à ausência de elementos comuns aos estudantes, o que acarreta na dificuldade em construir uma primeira impressão do fenômeno descrito no livro. Como uma etapa é pré-requisito para a formação da seguinte, é provável que esses textos dificultem a formação das demais etapas.

Os textos analisados em sequência foram os que abordam os conhecimentos sobre *Cinética Química*. Sobre esses textos, novamente a obra **A** apresenta os melhores resultados, contendo propriedades que convergem com a teoria de Peirce, podendo favorecer todas as etapas para a formação de uma representação mental adequada. A obra **D** demonstra fragilidades em algumas situações referentes à *primeiridade*, devido à ausência em alguns casos de aspectos comuns aos estudantes, com vistas a facilitar a formação da primeira impressão do fenômeno estudado. As obras **B** e **C** mostram os piores resultados, devido à ausência mais significativa de elementos favoráveis à *primeiridade*, acarretando em possíveis prejuízos para as demais etapas seguintes.

Os capítulos sobre a *Função Álcool* mostram-se mais convergentes com a teoria de Peirce nas coleções **A** e **D**. A obra **C** demonstrou fragilidades significativas, em alguns casos, referentes à *primeiridade*, devido à ausência de contextualizações comuns aos estudantes dos conceitos apresentados. A obra **B** obteve novamente os piores resultados, não tendo características relevantes

relacionadas à *primeiridade*, de modo a gerar, por consequência, possíveis impedimentos às demais etapas.

Após a realização das análises, apenas os capítulos analisados da obra **A** possuem, em sua totalidade, características convergentes com a teoria de Peirce, podendo facilitar todas as etapas de formação de uma representação mental. As demais obras possuem deficiências relacionadas à *primeiridade*, podendo, em alguns casos, prejudicar as demais etapas também.

Na última etapa da investigação, identificaram-se e categorizaram-se possíveis obstáculos epistemológicos presentes nos textos analisados, fundamentados em Bachelard (1996). Pela análise realizada, conclui-se que os autores das obras tiveram cuidado em relação a esses impedimentos, havendo pequena quantidade de obstáculos identificados e de pouco significado para a aprendizagem.

Nos capítulos das obras analisadas, que discutiam os conhecimentos relacionados à teoria de *Reações Químicas*, não foram encontrados obstáculos epistemológicos de qualquer natureza. Esse resultado deve ser destacado, pois a abordagem dos conceitos relacionados a esses conhecimentos geralmente é realizada de modo teórico ou simbólico, exigindo um grau de abstração maior por parte dos estudantes.

Nos capítulos sobre *Cinética Química* foram encontrados alguns casos de obstáculos epistemológicos relevantes. Foram identificados cinco obstáculos pertencentes à obra **A** e dois obstáculos referentes à obra **C**. As obras **B** e **D** não apresentam obstáculos epistemológicos nestes capítulos. Com relação às categorias propostas por Bachelard, os obstáculos presentes são categorizados como *obstáculo verbal*, relacionados como o modo em que os conceitos são definidos por meio da linguagem escrita, e como *obstáculo primeiro*, impedimento caracterizado por impedir a transição do conhecimento comum para o conhecimento científico, presente em situações em que o livro didático não aborda de modo correto os conhecimentos químicos.

É importante salientar que todos os obstáculos epistemológicos identificados nos textos sobre *Cinética Química* das obras analisadas são de fácil correção ou aprimoramentos ou, ainda, de solução na mediação do professor durante as aulas, pois, possivelmente, foram ocasionados por

equivocos na revisão da edição final dos livros ou em descuidos na definição dos conceitos químicos.

Os últimos capítulos analisados, relacionados aos conhecimentos sobre *Função Álcool*, apresentam apenas um obstáculo epistemológico relevante, pertencente à obra **B**. Esse obstáculo pode ser categorizado como *obstáculo primeiro*, pois é demonstrado por meio de uma figura que mostra as ligações de hidrogênio entre átomos de oxigênio ou hidrogênio somente. É uma inadequação conceitual ou omissão, pois as ligações de hidrogênio ocorrem quando átomos de hidrogênio interagem com átomos de flúor, oxigênio ou nitrogênio. Entretanto, o texto junto à imagem é esclarecedor sobre essa definição.

Assim como nos obstáculos presentes nos capítulos sobre *Cinética Química*, o obstáculo encontrado na obra **B** também pode ser facilmente corrigido, podendo ter sido causado por um descuido na escolha da imagem para representar o processo de ligações de hidrogênio.

De modo geral, os capítulos sobre *Reações Químicas*, *Cinética Química* e *Função Álcool* não apresentam quantidades relevantes de obstáculos epistemológicos que possam influenciar negativamente ou dificultar o processo de aprendizagem dos conhecimentos químicos por parte dos estudantes. Nesses casos, quando há a presença desses impedimentos, a ação do professor pode ser suficiente para transcender tais obstáculos epistemológicos.

Em relação às categorias propostas por Bachelard, vinculadas às naturezas dos impedimentos, foram identificadas somente as categorias *obstáculo primeiro* e *obstáculo verbal*. A obra **A** apresentou maior número de obstáculos epistemológicos (cinco) e a obra **D** não apresentou esses obstáculos. A obra **C** apresentou dois obstáculos epistemológicos e a **B** somente um. Isso mostra que as obras aprovadas no PNLD 2015 praticamente não apresentam dificuldades em relação aos obstáculos epistemológicos, mostrando um cuidado dos autores nesse sentido.

Com a finalização das análises realizadas nesta investigação, pode-se concluir que os capítulos analisados das coleções de livros didáticos de Química aprovados no PNLD de 2015 demonstram propriedades diversas para responder à questão central de pesquisa proposta neste trabalho. Os resultados obtidos nas análises das abordagens do conhecimento químico e a

presença de elementos favoráveis às representações mentais permitem identificar um vínculo entre ambos os resultados. As obras que apresentaram a abordagem fenomenológica satisfatória também geraram propriedades favoráveis para o desenvolvimento da *primeiridade*, primeiro estágio para a formação de uma representação mental. Essa relação pode ser definida pela necessidade de o sujeito formar uma primeira impressão, um modelo inicial do fenômeno, por meio de conhecimentos pouco complexos, de natureza comum ao indivíduo. A partir do uso de contextos macroscópicos e comuns aos estudantes da Educação Básica, os discentes têm condições de formar a representação inicial do fenômeno químico estudado.

Os demais estágios para a construção de uma representação mental, *secundidade* e *terceiridade*, podem ser favorecidos por uma redação que aborde os conhecimentos químicos de modo complexo e com linguagem adequada, privilegiando os elementos teóricos e representacionais.

Com relação aos obstáculos epistemológicos identificados nos capítulos das obras analisadas, classificados como *obstáculo primeiro* e *obstáculo verbal*, praticamente não prejudicam a compreensão dos conhecimentos químicos e a formação de representações mentais desses aprendizados, pois não estão presentes de modo significativo nos textos analisados e são de fácil correção ou transcendência.

Portanto, ao avaliar os livros sob a perspectiva da questão de pesquisa que norteou esta investigação, foi evidenciado que a obra **A** obteve os melhores resultados, apresentando uma linguagem adequada e complexa para abordar os conhecimentos de *Reações Químicas*, *Cinética Química* e *Função Álcool*, pois trata todos os fundamentos do conhecimento químico propostos por Johnstone (1993) e Mortimer, Machado e Romanelli (2000) e possui características que podem contribuir para a formação de representações mentais dos conceitos discutidos dos estudantes. As demais obras apresentam fragilidades referentes à abordagem fenomenológica em, no mínimo, dois capítulos, podendo causar dificuldades para a formação das representações mentais, em especial, no estágio inicial, a *primeiridade*.

Sugere-se a continuidade desta investigação por meio da busca de compreensão de outros recursos didáticos, como plataformas digitais de materiais didáticos ou recursos não formais, de modo a propiciar um estudo em

relação às abordagens do conhecimento químico, à formação de representações mentais e aos obstáculos epistemológicos.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, M. T. (Org.). **Ser protagonista** – Química. São Paulo: SM, 2013.
- BACHELARD, G. **A epistemologia**. Lisboa: Edições 70, 2006.
- BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BOGDAN, R; C. BIKLEN, S; K. **Qualitative research for education**: an introduction for theory and methods. 3. ed. Boston: Allyn e Bacon, 1998.
- BRASIL, Ministério da Educação. **Guia de Livros Didáticos**: PNLD 2015: Química. Brasília: MEC, 2014.
- CARROL, J; M. OLSON, J; R. **Mental models in human-computer interaction**. Amsterdam: Helander, 1988.
- COSTA, R; C. Os obstáculos epistemológicos de Bachelard e o ensino de ciências. **Cad. Educ. FaE/UFPEI**, v. 11, p. 153-167. Pelotas. 1998.
- DUVAL, R. Registros de representações semióticas e funcionamento cognitivo da compreensão em matemática. In: MACHADO, S. D. A. (Ed). **Aprendizagem matemática**: representação semiótica. 4. ed. São Paulo: Papirus, 2009. p. 11-34.
- FLICK, U. **Entrevista episódica. Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som**: um manual prático. Vozes: Petrópolis. 2002. p. 114-136.
- FONSECA, M. R. M. **Química**. São Paulo: Ática, 2013.
- FRACALANZA, H; A. AMARAL, I; A. GOUVEIA, M; S; F. **O ensino de ciências no primeiro grau**. São Paulo: Pontual, 1987.
- GILBERT, J; K. BOULTER, C; J. **Developing models in science education**. Dordrecht, Holanda; Kluwer. 2000.
- GOMES, H; J; P. OLIVEIRA, O; B. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. **Revista Ciência e Cognição**, v. 12, dez. 2007.
- GOODE, W; J. HAAT, P; K. **Métodos em pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1979.
- GÜNTER, H. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: Esta é a questão? **Psicologia: Teoria e Pesquisa**. v. 22, n. 2, p. 201-210, mai-ago. 2006.
- HOUSE, E; R. HOWE, K; R. **Values in evaluation and social research**. London: Sage, 1999.

- HARTWING, D. R. **Química geral e inorgânica**. São Paulo: Scipione, 1999.
- HODSON, D. Time for action: science education for an alternative future. **International Journal of Science Education**. v. 25, p. 645-670, 2003.
- IZQUIERDO, M. SANMARTÍ, N. ESTAÑA, J; L. Actividad química escolar: modelización metacognitiva del cambio químico. In IZQUIERDO, M.; CAAMAÑO, A.; QUINTANILLA, A. (Eds.). **Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar**. Barcelona: UAB, 2007. p. 141-164
- JOHNSTONE, A. H. The Development of Chemistry Teaching, **The Forum**, v. 70, n. 9, 1993.
- JONHSON-LAIRD, P. **Mentals models**. Harvard: Harvard University Press, 1983.
- KLEER, J. BROWN, J.; S. **Mental model of physical mechanisms and their acquisition**. Hillsdale: Anderson, 1981.
- LEITE, V; M. SILVEIRA, H; E. DIAS. S; S. Obstáculos epistemológicos em livros didáticos: um estudo das imagens de átomos. **Revista virtual Candombá**, v. 2, n. 2. p. 72-79, jul-dez. 2006.
- LOPES, A; R; C. Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 74, n. 177, p. 309-334, mai/ago., 1993.
- LOPES, A. R. C. Livro didático: obstáculo e aprendizado da ciência: obstáculos animista e realista. **Química Nova**, v. 15, n. 3, p. 254-261, 1992.
- LÜDKE, M.; MEDA, A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.
- MELZER, E. E. M.; CASTRO, L.; AIRES, J. A.; GUIMARÃES, O. M. Modelos atômicos nos livros didáticos de química: obstáculos à aprendizagem? Encontro Nacional de Ensino de Química, 8, 2008. **Anais...** ABRAPEC, Águas de Lindóia, 2008. Disponível em: <http://www.foco.fae.ufmr.br/pdfs/399.pdf>. Acesso em: 30 de junho de 2016.
- MÓL, G. S.; SANTOS, W. L. P. **Química Cidadã**. São Paulo: AJS, 2013.
- MORAES, R. **Da noite ao dia: tomada de consciência de pressupostos assumidos dentro das pesquisas sociais**. 2006. Texto não publicado.
- MORRISON, M; S. MORGAN, M. **Models as Mediators: perspectives on Natural and Social Science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química**. São Paulo: Scipione, 2013.
- MORTIMER, E; F; A. A evolução dos livros didáticos de Química destinados ao ensino secundário. **Em aberto**, ano 7, n. 40, p. 25-41, 1988.

- MORTIMER et. al. A Proposta Curricular de Química do Estado de Minas Gerais: Fundamentos e Pressupostos. **Química Nova**, v. 23, n.2, p. 273-283, 2000.
- MOSKOVICI, S. **A representação social da Psicanálise**. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.
- PEIRCE, C. S. Classificação dos signos. In: PEIRCE, C. S. **Semiótica e filosofia**. São Paulo: Cultrix, EdUSP, 1975. p. 93-114.
- PEIRCE, C. S. **Escritos Coligidos**. Coleção Os Pensadores, v. 36. Abril Cultural. São Paulo. 1974.
- PEIRCE, C. S. **Semiótica**. São Paulo: Perspectiva, 2005.
- ROUSE, W.; MORRIS, N. M. On looking into the black box: prospects and limits in the search for mental models. **Psychological Bulletin**. v. 100. p. 349-363. 1986.
- SANTAELLA, L. **O que é semiótica?** São Paulo: Brasiliense, 1983.
- SANTOMÉ, J. T. **Globalização e interdisciplinaridade: o currículo integrado**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- SILVEIRA, H; E. **A produção do conhecimento químico em salas de aula: o ensino de modelos atômicos**. 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.
- SOUZA, K. F. D.; PORTO, P; A. Elementos da semiótica peirciana na educação em Química: considerações e possibilidades. Encontro Nacional de Ensino de Química, 10, 2010. **Anais...** ABRAPEC, Águas de Lindóia, 2010.
- STADLER, J. P.; SOUSA JUNIOR, F. S.; GEBARA, M. J. F.; HUSSEIN, F. R. G. S. Análise de obstáculos epistemológicos em livros didáticos em livros didáticos de química do ensino médio do PNL D 2012. **Revista Holos**, v. 2, 234-243, 2012.
- STAKE, R. E. **Pesquisa Qualitativa: estudando como as coisas funcionam**. Porto Alegre: Penso, 2011.
- VENTURA, M. V. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Rev. SOCERJ**, v. 20. p. 283-286. set-out. 2007.
- YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- WARTHA, E. J.; REZENDE, D. B. Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce. **Investigação em Ensino de Ciências**. v. 16, n. 2. p. 275-290. 2011.