

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

HELTON LUIZ DIAS FERREIRA

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE ANALOGIAS EM LIVROS
DIDÁTICOS DE QUÍMICA DA DÉCADA DE 1990 E
CONTEMPORÂNEOS**

Belo Horizonte

2020

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

HELTON LUIZ DIAS FERREIRA

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE ANALOGIAS EM LIVROS
DIDÁTICOS DE QUÍMICA DA DÉCADA DE 1990 E
CONTEMPORÂNEOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica, do Centro Federal em Educação Tecnológica de Minas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre da Silva Ferry

Linha de Pesquisa: Práticas Educativas em Ciência e Tecnologia

Financiamento: Fundação Cefetminas

Belo Horizonte

2020

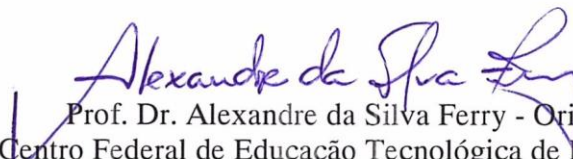


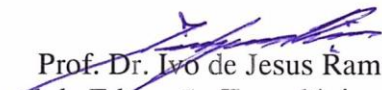
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

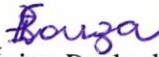
Helton Luiz Dias Ferreira

“ANÁLISE ESTRUTURAL DE ANALOGIAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DA DÉCADA DE 1990 E CONTEMPORÂNEOS.”

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Educação Tecnológica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, em 13 de agosto de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação Tecnológica, aprovada pela Comissão Examinadora de Defesa de Dissertação constituída pelos professores:


Prof. Dr. Alexandre da Silva Ferry - Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais


Prof. Dr. Ivo de Jesus Ramos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais


Prof.^a Dr.^a Ivina Paula de Souza
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais


Prof.^a Dr.^a Leila Saddi Ortega
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

F383a Ferreira, Helton Luiz Dias
Análise estrutural de analogias em livros didáticos de química da década de 1990 e contemporâneos. / Helton Luiz Dias Ferreira. – Belo Horizonte, 2020.
118 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre da Silva Ferry

Bibliografia

1. Analogia. 2. Ciências – Estudo e Ensino. 3. Química – livros Didáticos. I. Ferry, Alexandre da Silva. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título

CDD 370.0169

Dedico este trabalho à minha esposa, Regiane Francielle Costa Ferreira, pelo amor e apoio nessa jornada, à minha mãe, Inês Aparecida Dias Ferreira, ao meu pai, Delôr Luiz Ferreira Júnior (in memoriam), ao meu irmão, César Henrique Dias Ferreira e a minha vó Policena Maria Alves Dias (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que através do seu amor e misericórdia me concedeu saúde e capacidade para realizar esse sonho.

A minha esposa Regiane e a minha mãe Inês que tiveram paciência e compreensão, e que nunca deixaram de me apoiar durante toda essa jornada.

Ao prof. Dr. Alexandre da Silva Ferry, meu orientador, por ter me acolhido e por sua generosidade em compartilhar os seus conhecimentos e me prestar auxílio ao longo dessa jornada.

Ao prof. Dr. Ronaldo Luiz Nagem, que sempre me incentivou e apoiou durante todo o período do mestrado.

Aos colegas do GEMATEC que forneceram contribuições valiosas ao longo da pesquisa.

Aos professores do Mestrado em Educação Tecnológica do CEFET-MG que com sua competência e dedicação, forneceram contribuições valiosas na minha formação.

Agradeço a Fundação Cefetminas, que por acreditar nas contribuições que essa pesquisa pode gerar para área em estudo, financiou a presente pesquisa.

Agradeço a Fundação CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio prestado ao longo dessa pesquisa, na qual, disponibilizou diversos artigos científicos por meio do seu portal, que foram de suma importância para a presente pesquisa.

“Você não pode ensinar nada a ninguém, mas pode ajudar as pessoas a descobrirem por si mesmas.” Galileu Galilei

FERREIRA, Helton Luiz Dias. *Análise estrutural de analogias em livros didáticos de Química da década de 1990 e Contemporâneos*. Orientador: Alexandre da Silva Ferry. 2020. 118f. Dissertação [Mestrado em Educação Tecnológica]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

Resumo

A presente pesquisa, inserida entre os estudos sobre o uso de analogias na Educação em Ciências, trata de comparações tomadas, a princípio, como analogias para o ensino de Química, empregadas por autores de livros didáticos da década de 1990 e contemporâneos. Tais comparações foram extraídas dos livros didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o triênio de 2018 a 2020, e de livros analisados no trabalho de Monteiro & Justi. Nesse contexto, o trabalho foi desenvolvido a partir da seguinte questão: como as comparações empregadas por autores de livros didáticos de Química contemporâneos, tomadas, como analogias para o ensino de conceitos científicos, se diferenciam de comparações empregadas em livros didáticos mais antigos com a mesma finalidade? Esse questionamento vai ao encontro da nossa linha de pesquisa, Práticas Educativas em Ciência e Tecnologia, na qual entendemos que o livro didático tem papel fundamental na construção e divulgação do conhecimento científico perante o aluno. Para análise das comparações potencialmente analógicas, o trabalho se baseou na Teoria do Mapeamento Estrutural (TME – em inglês, *Structure Mapping Theory*) Gentner & Markman e na Teoria das Múltiplas Restrições (TMR – em inglês, *Multiconstraint Theory*) de Holyoak & Thagard. Como referencial metodológico, a investigação se baseou nos trabalhos de Ferry sobre análise estrutural de analogias na Educação em Ciências. Nossa análise evidenciou: (i) para quais subtópicos do conteúdo de Cinética Química o emprego de analogias tem sido mais comum; (ii) quais têm sido os domínios base e alvo mais frequentes no estabelecimento de comparações no contexto da Cinética Química; (iii) para quais propósitos essas comparações têm sido empregadas; (iv) de que forma autores de livros didáticos de Química empregam comparações como recurso de mediação; (v) quais foram as principais contribuições ou recomendações dadas por pesquisadores que se dedicaram a investigar o modo como analogias são empregadas em livros didáticos de Ciências; (vi) em que medida o emprego de analogias em livros didáticos mais recentes se diferencia da forma de abordagem desse recurso didático em livros antigos. Em síntese, nossa análise nos permitiu compreender como os autores apresentam as suas comparações, como discutem as suas limitações e, com o auxílio do mapeamento estrutural, identificamos se as comparações propostas são analogias.

Palavras chave: Analogias. Ensino de Química. Cinética Química. Livro Didático. Teoria do Mapeamento estrutural.

FERREIRA, Helton Luiz Dias. *Análise estrutural de analogias em livros didáticos de Química da década de 1990 e Contemporâneos*. Orientador: Alexandre da Silva Ferry. 2020.118f. Dissertação [Mestrado em Educação Tecnológica]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

Abstract

The present research, inserted among the studies on the use of analogies in Science Education, deals with comparisons taken, at first, as analogies in teaching Chemistry, used by authors from the 1990s and contemporaries textbooks. These comparisons were taken from the Chemistry textbooks approved by the Brazilian National Program of Didactic Books (PNLD) for the period from 2018 to 2020, and from books analyzed by Monteiro and Justi in their research. In this context, the research was developed from the following question: how do the comparisons used by authors of contemporary Chemistry textbooks, as analogies to teach scientific concepts, differ from comparisons used in older textbooks for the same purpose? This questioning is in line with our research line, "Educational Practices in Science and Technology", in which we understand that textbooks play a fundamental role in the construction and dissemination of scientific knowledge to the student. For analysis of potentially analogical comparisons, the research was based on the Structure Mapping Theory, by Gentner and Markman, and the Multiconstraint Theory, by Holyoak and Thagard. As a methodological reference, the research was based on the works of Ferry on structural analysis of analogies in Science Education. Our analysis revealed: (i) to which subtopics the content of Chemical Kinetics the use of analogies has been more common; (ii) which have been the most frequent base and target domains in the establishment of comparisons in the context of Chemical Kinetics; (iii) for what purposes these comparisons have been employed; (iv) how authors of Chemistry textbooks use comparisons as a means of mediation; (v) the main contributions or recommendations given by researchers dedicated to investigating how analogies are used in Science textbooks; (vi) how the use of analogies in more recent textbooks differs from the way in which this didactic resource is approached in older books. In summary, our analysis allowed us to understand how the authors present their comparisons, how they discuss their limitations and, with the aid of structure mapping, we identified whether the proposed comparisons are analogies or not.

Keywords: Analogies. Teaching of Chemistry. Chemical Kinetics. Textbooks. Structure Mapping Theory

Lista de Figuras

FIGURA 1 - CONDIÇÕES BÁSICAS DE ISOMORFISMO EM UMA ANALOGIA SEGUNDO HOLYOAK & THAGARD (1989).	40
FIGURA 2 - EXEMPLO DE ISOMORFISMO EM UMA COMPARAÇÃO FEITA NO CONTEÚDO DE CINÉTICA QUÍMICA.	41
FIGURA 3 - EXEMPLOS DE COMPARAÇÕES ENVOLVENDO DIFERENTES SIMILARIDADES SEMÂNTICAS.....	42
FIGURA 4 - SÍNTESE DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS ADOTADOS NA PESQUISA	53
FIGURA 5 - IMAGEM DE UM CATALISADOR AUTOMOTIVO.	66
FIGURA 6 - COMPARAÇÃO UTILIZADA PARA EXPLICITAR A DEPLEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO	68
FIGURA 7 - COMPARAÇÃO UTILIZADA PARA EXPLICITAR AS ETAPAS DE UMA REAÇÃO QUÍMICA.	70
FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO DAS COMPARAÇÕES POTENCIALMENTE ANALÓGICAS DEFINIDAS NOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO.	72
FIGURA 9 - ISOMORFISMO DA COMPARAÇÃO C2 ENCONTRADA NO LIVRO LDN-1 (p.130).....	82
FIGURA 10 - GRÁFICOS UTILIZADO PARA ELUCIDAR A COMPARAÇÃO C6	91
FIGURA 11 - ISOMORFISMO DA COMPARAÇÃO C11.	97

Lista de Quadros

QUADRO 1 - QUANTIDADE DE COMPARAÇÕES IDENTIFICADAS POR PESQUISADORES QUE SE PROPUSERAM A INVESTIGAR O MODO COMO ANALOGIAS SÃO EMPREGADAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE CIÊNCIAS.....	25
QUADRO 2 - TÓPICOS COM AS TRÊS MAIORES CONCENTRAÇÕES DE ANALOGIAS IDENTIFICADAS PELOS AUTORES EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA PARA O ENSINO MÉDIO.....	28
QUADRO 3 - TIPOS DE COMPARAÇÕES, FOCO DAS CORRESPONDÊNCIAS E EXEMPLOS DAS COMPARAÇÕES.	35
QUADRO 4 - LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA AVALIADOS QUANTO A PRESENÇA DE ANALOGIAS EM RELAÇÃO AO CONTEÚDO CINÉTICA QUÍMICA.	45
QUADRO 5 - PADRÃO DE REPRESENTAÇÃO DE CORRESPONDÊNCIAS ENTRE DOMÍNIOS PARA MAPEAMENTO DE COMPARAÇÕES POTENCIALMENTE ANALÓGICAS.	50
QUADRO 6 - QUANTIDADE DE COMPARAÇÕES POR TÓPICO E SUBTÓPICO DE CONTEÚDO ASSOCIADO AO ESTUDO DA CINÉTICA QUÍMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO, APROVADOS PELO PNLD 2018-2020.	56
QUADRO 7 - QUANTIDADE DE COMPARAÇÕES POR TÓPICO E SUBTÓPICO DE CONTEÚDO ASSOCIADO AO ESTUDO DA CINÉTICA QUÍMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS ANTIGOS DE QUÍMICA DO ENSINO MÉDIO.....	59
QUADRO 8 - COMPARAÇÕES IDENTIFICADAS NOS LIVROS DIDÁTICOS DE ENSINO MÉDIO DE QUÍMICA SOBRE O TEMA CINÉTICA QUÍMICA.	62
QUADRO 9 - ANÁLISE DAS COMPARAÇÕES POTENCIALMENTE ANALÓGICAS SEGUNDO AS CATEGORIAS DE CURTIS & REIGELUTH (1984).....	73
QUADRO 10 - MAPEAMENTO ESTRUTURAL DA COMPARAÇÃO C1.	77
QUADRO 11 - MAPEAMENTO ESTRUTURAL DA COMPARAÇÃO C2	80
QUADRO 12 - MAPEAMENTO ESTRUTURAL DA COMPARAÇÃO C4	85
QUADRO 13 - MAPEAMENTO ESTRUTURAL DA COMPARAÇÃO C6	88
QUADRO 14 - MAPEAMENTO ESTRUTURAL DA COMPARAÇÃO C7	92
QUADRO 15 - MAPEAMENTO ESTRUTURAL DA COMPARAÇÃO C11	95

Lista de Siglas

AC	Antes de Cristo
ANBT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMTEC	Analogias e Metáforas na Tecnologia, na Educação e na Ciência
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNLD	Comissão Nacional do Livro Didático
COLTED	Comissão do Livro Técnico e do Livro Didático
DA	Domínio Alvo
DB	Domínio Base
ECT	Empresa de Correios e Telégrafos
EJA	Educação de Jovens e Adultos
FAE	Fundação de Assistência ao Estudante
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento Educacional
GEMATEC	Grupo de Estudos em Metáforas, Modelos e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência
LDN-1	Livro Didático Novo 1
LDN-2	Livro Didático Novo 2
LDN-3	Livro Didático Novo 3
LDN-4	Livro Didático Novo 4
LDN-5	Livro Didático Novo 5
LDN-6	Livro Didático Novo 6
LDA-1	Livro Didático Antigo 1
LDA-2	Livro Didático Antigo 2
LDA-3	Livro Didático Antigo 3
LDA-4	Livro Didático Antigo 4
LDA-5	Livro Didático Antigo 5
LDA-6	Livro Didático Antigo 6
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
INL	Instituto Nacional do Livro
IPT	Instituto Nacional de Pesquisas Tecnológicas
MEC	Ministério da Educação
PLIFED	Programa do Livro Didático para o Ensino Fundamental

PNLD	Programa Nacional do Livro e do Material Didático
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio
Séc.	Século
SEB	Secretaria da Educação Básica
TME	Teoria do Mapeamento Estrutural
USAID	Agência Norte Americana para o Desenvolvimento Internacional

Lista de Notações e Símbolos

O_{b1}	Primeiro objeto da base
O_{b2}	Segundo objeto da base
O_{t1}	Primeiro objeto do alvo (Target)
O_{t2}	Segundo objeto do alvo (Target)
R_b	Relação na base
R_t	Relação no alvo (Target)
m	Mapeamento
E_n 	Correspondências entre elementos (E)
A_n 	Correspondências entre atributos (A)
r_n 	Correspondências entre relações de primeira ordem, sendo esta de menor complexidade
R_n 	Correspondências entre relações de segunda ordem ou de ordem superior, sendo estas de maior complexidade (R)
	Limitação da comparação; diferença alinhável

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução	15
1.1 Apresentação do Tema e Objeto de estudo	15
1.2 Justificativa.....	17
1.3 Panorama do trabalho	18
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica.....	20
2.1 Um breve contexto histórico das pesquisas sobre analogias	20
2.2 Analogias como recurso didático	22
2.3 Analogias em Livros Didáticos de Ciências/Química.....	24
2.4 Categorias para análise de analogias em livros didáticos.....	28
2.5 Programa Nacional do Livro Didático	31
2.5.1 Um breve histórico sobre o PNLD	32
2.5.2 PNLD 2018.....	33
Capítulo 3 – Referencial Teórico.....	34
3.1 Teoria do Mapeamento Estrutural das analogias.....	34
3.1.1 As analogias e os outros tipos de comparações.....	34
3.1.2 Limitações das comparações	37
3.1.3 Mapeamento Estrutural.....	38
3.2 Restrições estruturais das analogias	39
Capítulo 4 – Metodologia	44
4.1 Livros didáticos e escolha do tópico de conteúdo	44
4.2 Metodologia para análise das comparações.....	46
4.3 Padrão de Representação do Mapeamento Estrutural	48
4.4 Procedimentos para análise das comparações dos livros didáticos de Química.....	52
Capítulo 5 – Resultados e Discussão	54
5.1 Análise do Manual do Professor.....	54
5.2 Levantamento das comparações dos livros didáticos de Química	56
5.3 Identificação das comparações e dos seus domínios	62
5.4 Caracterização das comparações selecionadas segundo as categorias de Curtis & Reigeluth (1984)	73
5.5 Análise estrutural das comparações C1, C2, C4, C6, C7 e C11.....	76
5.5.1 Comparação C1	77
5.5.2 Comparação C2	79
5.5.3 Comparação C4	83

5.5.4 Comparação C6	87
5.5.5 Comparação C7	91
5.5.6 Comparação C11	94
Capítulo 6 – Considerações Finais	98
Referências	103
Anexos.....	107
Anexo A - Comparação C1 no livro LDN-1	107
Anexo B - Comparação C1 no livro LDA-1.....	108
Anexo C - Comparação C2 no livro LDN-1.....	109
Anexo D - Comparação C2 no livro LDA-1	110
Anexo E - Comparação C4 no livro LDN-1.....	111
Anexo F - Comparação C4 no livro LDA-1	112
Anexo G - Comparação C6 no livro LDN-1	113
Anexo H - Comparação C6 no livro LDA-1	114
Anexo I - Comparação C7 no livro LDN-1	115
Anexo J - Comparação C7 no livro LDA-1.....	116
Anexo K - Comparação C11 no livro LDN-1	117
Anexo L - Comparação C11 no livro LDA-1.....	118

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Apresentação do Tema e Objeto de estudo

As analogias têm sido objeto constante de estudo por diversos pesquisadores da área da Educação em Ciências que têm discutido sobre o papel, a relevância e as implicações do uso desse tipo de recurso mediacional no ensino e na aprendizagem. Dentre os estudos mais recentes que têm contribuído para a pesquisa nessa área, destacamos os trabalhos de ALVARENGA (2017), FERRY & PAULA (2017), MURTA (2017), FERRY & NAGEM (2015), MOZZER & JUSTI (2013, 2015) e os de FERRY (2016, 2017, 2018). Além desses estudos que se fazem relevantes, destacamos outros trabalhos que têm contribuído para as investigações sobre o uso de analogias e outros tipos de comparações, como os de CURTIS & REIGELUTH (1984), MÓL (1999), MONTEIRO & JUSTI (2000), FERRAZ & TERRAZZAN (2001, 2002 e 2003), BOZELLI & NARDI (2006 e 2012) e os de FRANCISO JUNIOR (2009, 2011 e 2012).

Pesquisadores na área de Educação em Ciências, como Alvarenga (2017), Ferry (2008), Mól (1999) e Souza (2013), destacam a relevância do uso das analogias nos processos de ensino e de aprendizagem. Segundo esses autores, os docentes utilizam esse importante recurso mediacional na tentativa de facilitar a compreensão dos conceitos científicos pelos discentes.

A afirmação de Alvarenga (*idem*), Ferry (*idem*), Mól (*idem*) e Souza (*idem*) também é apresentada na pesquisa de Terrazzan *et al* (2003), ao relatar que as metáforas e as analogias são apontadas, por pesquisadores, como importantes recursos didáticos nos processos de ensino e de aprendizagem para explicitar os conceitos científicos tidos como de difícil compreensão, pois tendem a facilitar a compreensão de um domínio científico desconhecido dos estudantes a partir de algo familiar a eles, auxiliando-os no estudo do conceito abordado. Mól (*ibidem*) traz uma importante observação, ao afirmar que as principais fontes de analogias utilizadas pelos docentes que fazem uso desse recurso advêm dos livros didáticos.

Pedroso, Amorim & Terrazzan (2007) trazem uma importante observação sobre o uso das analogias como recurso didático, pois segundo os autores as analogias são tratadas de forma distinta quando são utilizadas por docentes e autores de materiais didáticos. Eles ressaltam que, caso uma analogia apresentada pelo professor não seja compreendida de forma clara pelos estudantes, o mesmo poderá intervir na analogia esclarecendo as partes que não foram compreendidas, o que não acontece nos materiais didáticos, por configurarem como um modo

de comunicação verbal escrita, que não possuem mecanismos para avaliar a compreensão das analogias por parte dos estudantes. Terrazzan *et al* (2003) vão além e dizem que, apesar dos autores desses recursos didáticos não possuírem mecanismos para a avaliação da compreensão das analogias por parte dos discentes, os responsáveis pelas coleções didáticas deveriam antecipar possíveis dificuldades que os alunos-leitores, por ventura, possam vir a ter. Os autores ainda ressaltam a necessidade e a importância de se analisar as analogias propostas nesses materiais. Semelhantemente, Mól (1999) afirma que o fato das analogias estarem presentes em materiais didáticos não garante que os estudantes construirão significados coerentes e atribuirão sentido aos conceitos científicos abordados por meio desse recurso didático.

Souza (2013) e Mozzer & Justi (2013) alertam que, embora as analogias possam apresentar benefícios quanto a sua utilização, problemas podem ocorrer caso não haja um planejamento adequado pois, se as correspondências entre o domínio conhecido e o desconhecido não forem bem estabelecidas, podem haver compreensões equivocadas do objeto de estudo.

Nesse contexto, a pesquisa apresentada nesta dissertação refere-se ao modo como as comparações, tomadas como analogias por autores de materiais didáticos, foram abordadas em livros didáticos de Química mais antigos (década de 1990) e como têm sido abordadas em livros mais recentes (PNLD 2018-2020), a fim de saber se as diversas recomendações dadas por pesquisas sobre analogias na Educação em Ciências têm sido incorporadas nesses materiais. Dessa forma, procurou-se responder a seguinte questão: *Como comparações empregadas por autores de livros didáticos de Química contemporâneos, tomadas, a princípio, como analogias para o ensino de conceitos científicos, se diferenciam de comparações empregadas em livros didáticos mais antigos com a mesma finalidade?*

Desdobramentos feitos a partir dessa questão permitiram o desenvolvimento da pesquisa que resultou nesta dissertação, a saber: (i) para quais tópicos do conteúdo de Química o emprego de analogias tem sido mais comum?; (ii) quais têm sido os domínios base e alvo mais frequentes no estabelecimento de comparações no contexto desses tópicos de conteúdo?; (iii) para quais propósitos essas comparações têm sido empregadas?; (iv) de que forma autores de livros didáticos de Química empregam comparações como recurso de mediação?; (v) quais foram as principais contribuições ou recomendações dadas por pesquisadores que se dedicaram a investigar o modo como analogias são empregadas em livros didáticos de Ciências?; (vi) em que medida o emprego de analogias em livros didáticos mais recentes se diferencia da forma de abordagem desse recurso didático em livros mais antigos?

Para responder essas perguntas, fizemos inicialmente a leitura integral de capítulos e seções sobre o tema Cinética Química nos livros aprovados no Programa Nacional do Livro Didático para o triênio 2018, 2019 e 2020 (PNLD 2018) e nos 5 livros antigos¹ que tivemos acesso, livros esses que foram utilizados na pesquisa de Monteiro & Justi (2000). Os procedimentos metodológicos estão apresentados, detalhadamente, no capítulo 4 desta dissertação.

Nosso referencial teórico foi construído a partir da Teoria do Mapeamento Estrutural (TME – em inglês, *Structure Mapping Theory*) de Gentner (1983) e Gentner & Markman (1997), teoria essa utilizada por Ferry (2016), cujo autor realizou uma análise estrutural de analogias construídas por um professor de Química em sala de aula. Esse trabalho de Ferry (2016) também foi adotado como um dos referenciais teóricos-metodológicos desta pesquisa.

1.2 Justificativa

Ao procurarmos compreender como os diferentes tipos de comparação, em especial as analogias, são utilizadas por autores de materiais didáticos de Ciências e, especificamente, no ensino dos conceitos da Química, acreditamos ser possível entender as implicações pedagógicas do modo como esse tipo de recurso mediacional é abordado em livros didáticos.

Entendemos que os livros didáticos de Química são tidos como importantes recursos pedagógicos que são colocados à disposição de docentes e discentes, e concordamos com Murta (2017) ao atribuir a importância dos livros didáticos, em especial, os dedicados a Educação em Ciências, como recursos de compartilhamento e construção de significados no contexto científico.

Ao longo das últimas décadas, tem crescido os estudos do papel das analogias no ensino de Ciências, conforme é apresentado em nossa revisão bibliográfica, cujas pesquisas têm apontado para necessidade de se verificar como essas analogias e outros tipos de comparações são empregadas no ensino para a compreensão dos conceitos científicos. Porém, conforme verificado por Alvarenga (2017), que pesquisou sobre analogias presentes em livros didáticos de Química, e Murta (2017), que desenvolveu a sua pesquisa sobre analogias e outros tipos de comparações voltadas para o ensino de Biologia em livros didáticos, não tem sido comum encontrar trabalhos que analisem as analogias encontradas em livros didáticos à luz da TME.

¹ Nesse trabalho denominamos livros antigos, os livros da década de 1990, utilizados na pesquisa de Monteiro & Justi (2000) e livros contemporâneos ou novos, os livros aprovados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2018-2020.

Os trabalhos de Alvarenga (2017) e Murta (2017) analisaram as formas como analogias são exploradas por autores de livros didáticos na perspectiva dessa teoria.

Devido à importância dos livros didáticos de Química na construção de significados dentro do contexto do Ensino de Ciências, a presente pesquisa buscou compreender o modo como as investigações no campo das analogias na Educação em Ciências têm contribuído e sido refletida na concepção de novos materiais didáticos. Também acreditamos que seja relevante analisar estruturalmente as comparações propostas nesses livros dentro de algum tópico específico de conteúdo. Escolhemos analisar as comparações apresentadas no contexto do tópico Cinética Química. Os motivos e critérios que nos levaram a tais escolhas estão apresentados no capítulo 4.

1.3 Panorama do trabalho

No primeiro capítulo do presente trabalho foram apresentados o tema de estudo, o objeto e o problema de pesquisa, as questões norteadoras do trabalho, uma apresentação geral e a justificativa para realização do estudo.

No segundo capítulo, apresentamos uma revisão da literatura sobre o uso de analogias no ensino de Ciências, assim como alguns trabalhos que visaram contribuir para o campo de estudo das analogias. Também abordamos o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) buscando trazer o seu contexto histórico e a utilização do mesmo frente as escolhas dos livros didáticos de 2018 para a realização desta pesquisa.

No terceiro capítulo, expomos o referencial teórico que fora construído a partir da Teoria do Mapeamento Estrutural (*Structure-mapping theory*) de Gentner (1983) e a Teoria das Múltiplas Restrições (*Multiconstraint Theory*) de Holyoak & Thagard (1989).

No quarto capítulo, descrevemos a metodologia utilizada no trabalho, onde expomos os critérios para a seleção das obras e a escolha do tópico de conteúdo. Também exibimos o padrão de representação do mapeamento estrutural das comparações e os procedimentos para análise das comparações dos livros didáticos de Química.

No quinto capítulo, discorremos sobre os dados referentes às comparações encontradas nos livros didáticos de Química, com seus respectivos domínios base (DB) e domínios alvo (DA), as comparações que foram selecionadas para a análise estrutural das analogias, além da análise

dessas comparações de acordo com as categorias de Curtis & Reigeluth (1984), com adaptações e os mapeamentos estruturais realizados.

No sexto capítulo, retomamos as questões de pesquisa a fim de responder nosso questionamento inicial à luz dos resultados obtidos com a investigação. Enunciamos nesse capítulo nossas considerações finais com algumas contribuições para o uso de analogias no ensino de Ciências.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

2.1 Um breve contexto histórico das pesquisas sobre analogias

As analogias e outros tipos de comparações vêm sendo estudados por pesquisadores das mais diversas áreas de conhecimento, Mól (1999). Segundo o autor, apesar das analogias terem se tornado objeto de estudo na área da Educação em Ciências, elas não estão presentes exclusivamente nas situações de ensino; as analogias também são utilizadas no dia a dia em nossas conversas, ao tentar explicar algo para outra pessoa ou na tentativa de se compreender algo novo. Para Mozzer & Justi (2013), quando comparamos aquilo que conhecemos com o que almejamos conhecer, tendemos a atribuir significado ao mundo a nossa volta e adquirimos o conhecimento almejado.

Segundo Alvarenga (2017), a história mostra que o raciocínio analógico está presente não somente nas Ciências Naturais, mas também em outras bases de pensamento, como as filosóficas, linguísticas, sociológicas dentre outras. O autor ainda afirma ser arriscado predizer quando os seres humanos iniciaram o uso das analogias. No entanto, Duarte (2005) cita que as primeiras teorias sobre metáforas e analogias tiveram seu surgimento na Grécia e são atribuídas a Aristóteles (séc. IV AC), e que a analogia tem se constituído, desde então, como um recurso para os teóricos da argumentação. Terrazzan *et al* (2003) e Curtis & Reigeluth (1984) vão além e dizem que as analogias provavelmente existem desde que ocorreu o desenvolvimento inicial da linguagem.

No início dos anos 2000, pesquisas feitas por brasileiros envolvendo o estudo de analogias eram escassas, conforme constataram Terrazzan *et al* (2003) e Monteiro & Justi (2000). As autoras Monteiro & Justi (*idem*), em seu artigo sobre analogias em livros didáticos de Química brasileiros destinados ao Ensino Médio, relataram que, na época, não havia no Brasil nenhum estudo publicado a respeito de como as analogias eram usadas como “modelos² de ensino”, pressupondo que as pesquisas sobre esse campo de estudos ainda eram incipientes. Porém, entendemos que nas últimas décadas as pesquisas nacionais e internacionais sobre as analogias tiveram um crescimento significativo, devido ao interesse de pesquisadores sobre processos didáticos e interações discursivas em salas de aula de Ciências. Entre os trabalhos nacionais,

² Embora Monteiro & Justi (2000) empreguem esse termo para tratar do papel das analogias no ensino de Ciências, preferimos usar o termo “recurso didático” ou “recurso mediacional”, ao entendermos que os modelos se configuram como outro tipo de recurso didático, sendo construções elaboradas para representar parcialmente entidades de interesse científico.

encontramos Pedroso, Amorim & Terrazzan (2007), Souza (2013), Mozzer & Justi (2013, 2015), Ferry & Nagem (2015), Ferry (2016), Ferry & Paula (2017), Alvarenga (2017) e Murta (2017).

Para Mozzer & Justi (2015), o intuito de compreender e de se explicar algo desconhecido ou pouco conhecido a partir de algo familiar é inerente à cognição humana. Nesta perspectiva, as analogias são vistas como ferramentas potenciais de pensamento nos processos de ensino e aprendizagem de Ciências. As autoras acreditam que as analogias também podem estar associadas ao desenvolvimento da criatividade e da imaginação, à construção de pensamentos integrais e interconectados, à melhoria de autoestima e a outros fatores que podem estar inclusos no processo da aprendizagem envolvendo analogias.

Segundo Duarte (2005), a definição do termo analogia é algo que está em constante reconstrução e que ao longo das últimas décadas, houve o surgimento de inúmeras definições que, em determinado momento, se aproximam e em outro momento se afastam, mas que sempre apresentam em comum uma relação entre o conhecido e o desconhecido, de modo a se estabelecer uma comparação.

Para Duit (1991), as analogias e as metáforas expressam comparações, porém as analogias seriam formas de se comparar, explicitamente, as estruturas dos domínios conhecido e desconhecido, enquanto que as metáforas seriam formas implícitas de se fazer essas comparações. Contudo, consideramos que a concepção desse autor não apresenta critérios claros e adequados para se diferenciar analogias de outros tipos de comparação, como as similaridades de mera aparência e as similaridades literais. Conforme o referencial teórico adotado neste trabalho, entendemos que as analogias se constituem como um tipo de comparação que ultrapassa a similaridade meramente estrutural, que possui foco nas similaridades entre aspectos relacionais presentes em cada domínio da comparação. No capítulo da fundamentação teórica há um aprofundamento nessas questões.

Diferentemente de Duit (1991), Mozzer & Justi (2015) e Ferry (2016) reconhecem as analogias como sendo um tipo de comparação na qual são feitas correspondências entre relações similares que constituem os domínios comparados, o conhecido e o desconhecido ou pouco conhecido, e nem somente entre aspectos estruturais como os elementos constituintes ou seus predicados descritivos, como forma, tamanho, cor.

Duarte (2005), em sua revisão da literatura, percebeu que os pesquisadores sobre analogias diferem em relação à terminologia associada ao domínio conhecido e ao desconhecido. Ao domínio conhecido se atribui os seguintes termos: foro, base, fonte, veículo, análogo e âncora. Já em relação ao domínio desconhecido se atribui os seguintes termos: alvo, meta, tópico e tema. A autora se refere aos domínios das comparações como sendo o “*termo para designar a rede conceptual abrangente a que pertencem os conceitos alvo (meta, tópico, tema) e análogo (fonte, base, veículo)*”. De acordo com o nosso referencial teórico – a Teoria do Mapeamento Estrutural – para o domínio conhecido, empregamos o termo *domínio base* (DB); para o domínio desconhecido ou pouco conhecido da analogia (e dos outros tipos de comparação), empregamos o termo *domínio alvo* (DA).

Souza (2013), em sua dissertação de mestrado, identificou nos livros didáticos de fisioterapia as expressões “analogia”, “analogamente”, “isso é como”, “semelhante a”, “similar a”, “assim como”, “isso é comparado a”, “pode ser comparado a”, “parece com”, “imagine que”, “aparentado”, “como”, “igualmente”, “da mesma maneira”, “do mesmo modo”, como sendo expressões empregadas por autores de materiais didáticos como possíveis indicadores do estabelecimento de analogias. Porém, ressaltamos que o fato dessas expressões aparecerem ou não nos livros didáticos, não fazem com que essas comparações sejam, necessariamente, analogias. Como dissemos anteriormente, a partir do nosso referencial teórico, entendemos as analogias como um tipo específico de comparação que possui foco nas correspondências entre relações similares.

2.2 Analogias como recurso didático

Segundo Ferraz & Terrazzan (2001), na perspectiva educacional, as analogias e metáforas são ferramentas usadas com frequência durante o processo de construção de noções científicas, estabelecendo relações entre sistemas distintos. Os autores ainda chegam a considerar que os conceitos científicos se tornam mais facilmente compreendidos como o uso destes recursos. Porém, cabe-nos fazer uma ressalva em relação a essa afirmação dos autores, pois as analogias e metáforas só serão úteis na construção desses conceitos científicos se forem trabalhados de forma adequada. Segundo Duit (1991), há possibilidade de as analogias poderem dar origem tanto a “bebês saudáveis” quanto a “monstros perigosos”, ou seja, se forem bem aplicadas elas podem facilitar o entendimento entre o enunciador e os seus interlocutores. Porém, caso sejam mal utilizadas, podem se tornar obstáculos para a compreensão, dificultando o entendimento do conhecimento que se deseja alcançar.

Mól (1999), argumenta que quando o professor utiliza a expressão “para vocês entenderem melhor, vamos fazer uma analogia” ele tem o objetivo de deixar explícito as propriedades e/ou características do conceito que deseja ensinar através de comparações, utilizando um conceito familiar aos alunos, tendo como propósito facilitar a aprendizagem dos discentes.

Segundo Bernardino, Rodrigues & Bellini (2013), a maioria dos professores e autores de materiais didáticos empregam amplamente as analogias no ensino, sendo elas empregadas de forma consciente ou inconsciente, sobretudo nas disciplinas que formam o campo das ciências, como é o caso de conteúdos de Química, Física e Biologia, em decorrência de alto grau de abstração demandado na tentativa de se compreender entidades distantes e distintas do mundo macroscópico. As autoras então consideram as analogias como um recurso didático de ampla utilização em sala de aula, além de ser um recurso potencialmente útil na aprendizagem.

Duit (1991) argumenta que as analogias são ferramentas poderosas que facilitam o processo de construção da aprendizagem com base em conceitos pré-existentes. O autor aponta as vantagens da utilização desse recurso mediacional no ensino. Para ele, as analogias são ferramentas que podem:

- abrir novas perspectivas na aprendizagem;
- facilitar a compreensão do abstrato através de semelhanças com conceitos concretos;
- fornecer a visualização de conceitos tidos como abstratos;
- provocar o interesse e a motivação dos discentes;
- ser utilizadas para avaliar os conhecimentos prévios dos discentes.

Monteiro & Justi (2000) nos trazem uma importante observação em relação ao uso das analogias ao dizerem que os professores devem auxiliar os alunos não só nas similaridades das analogias, como também devem deixar claro as diferenças existentes entre o domínio conhecido e o domínio desconhecido. Compartilhamos dessa argumentação das autoras, haja vista que, as analogias não devem ser estabelecidas sem se avaliar qual conceito científico pretende-se esclarecer e qual o conhecimento dos alunos a respeito do que se está abordando. Além disso, os professores devem assegurar que os conceitos foram bem compreendidos e não devem usar indiscriminadamente as analogias sem verificarem a sua real necessidade e eficácia.

2.3 Analogias em Livros Didáticos de Ciências/Química

Para Francisco Junior (2009, 2011), os livros didáticos são importantes mecanismos de homogeneização de conceitos, conteúdos e abordagens de ensino, sendo que em algumas ocasiões podem ser a única alternativa para qual os docentes podem recorrer. Ainda segundo o autor, as analogias são recursos que se encontram muito presentes nos livros didáticos, mas que infelizmente não são muito aproveitadas ou pela falta de conhecimento a respeito delas por parte do professor ou por serem utilizadas de forma errônea por parte de autores dos livros didáticos.

Lopes (1992) reconhece que os autores de livros didáticos tendem a usar recursos para associar conceitos a ideias que são familiares aos alunos. A autora, porém, faz uma crítica aos materiais didáticos por considerar que os livros transmitem apenas um conceito vago e impreciso da ciência. A autora acredita que o livro e o professor-autor são detentores de poder social, pois a palavra escrita adquire estatuto de verdade devido ao fato de ser registrada e publicada.

Concordamos com Francisco Junior (2009, 2011) e com Lopes (idem) ao demonstrarem preocupação a respeito do modo como os conceitos científicos são transmitidos, sejam eles com o auxílio das analogias, com outros tipos de comparações ou com qualquer outro recurso mediacional. Porém, entendemos que não deva ser feita uma generalização para todos os materiais didáticos, conforme Lopes (ibídem) traz em seu discurso, pois seria perigoso afirmar que todos autores não se preocupam com a forma como são compartilhados e construídos os conceitos científicos escolares.

A presente seção foi elaborada com o objetivo de apresentar contribuições ou recomendações dadas por pesquisadores que se dedicaram a investigar o modo como analogias são empregadas em livros didáticos de Ciências. Dentre os pesquisadores que contribuíram para essa investigação, destacamos Curtis & Reigeluth (1984), Thiele & Treagust (1994), Monteiro & Justi (2000), Francisco Junior (2012), Alvarenga (2017) e Murta (2017). No quadro 1 apresentamos o quantitativo de comparações encontradas pelos autores durante a suas pesquisas:

Quadro 1 - Quantidade de comparações identificadas por pesquisadores que se propuseram a investigar o modo como analogias são empregadas em livros didáticos de Ciências.

Autores	Livros	Quantidade de Comparações
Curtis & Reigeluth (1984)	26	216
Thiele & Treagust (1994)	10	93
Monteiro & Justi (2000)	28	126
Francisco Junior (2009)	6	154
Francisco Junior (2012)	7	212
Bernardino, Rodrigues & Bellini (2013)	1	25
Alvarenga (2017)	4	16
Murta (2017)	9	40

Fonte: Produzido pelo autor.

No trabalho desenvolvido por Curtis & Reigeluth (1984), entre os 26 livros pesquisados referentes aos anos de 1963 a 1983, 10 eram de biologia, 6 de Ciência Geral, 4 de Química, 3 de Física, 2 de Ciências da Terra e 1 de Geologia. Nesse trabalho os autores destacam que as analogias presentes em um texto se diferem das analogias usadas oralmente, já que a estratégia cognitiva da analogia presente de forma escrita visa melhorar a compreensão do aluno sobre o tipo mais complexo de conteúdo instrucional apresentado. Ainda segundo os autores, ao contrário da analogia verbalizada, os autores dos materiais didáticos não possuem mecanismos para receberem um *feedback* dos estudantes.

Curtis & Reigeluth (idem) identificaram e caracterizaram as comparações em livros didáticos considerando a relação analógica entre os domínios, o formato no qual as comparações são apresentadas (verbal, pictórico-verbal), nível de abstração, localização do domínio base em relação ao domínio alvo, nível de enriquecimento e orientação pré-trópico. Essas categorias foram adotadas por alguns pesquisadores na identificação e categorização de analogias em livros didáticos de Ciências, incluindo Monteiro & Justi (2000). Em nosso trabalho também adotamos algumas dessas categorias, apresentadas na subseção 2.4 deste capítulo. Curtis & Reigeluth (idem) desenvolveram um trabalho pioneiro que nos serve de referência quando abordamos o assunto do uso de analogias em livros didáticos.

Thiele & Treagust (1994) identificaram as 93 analogias em 10 livros didáticos de Química, os autores constataram que os escritores de livros didáticos discutiam pouco ou não discutiam as limitações das comparações. Para Thiele & Treagust, tal constatação sugere que os autores dos livros didáticos analisados ou pressupõem que estudantes são capazes de efetuar a transferência analógica por conta própria ou que o professor, necessariamente, os ajudam a compreender a analogia proposta. Essa constatação demonstra a preocupação dos autores quanto à necessidade de se atentar para tal requisito.

Monteiro & Justi (2000) realizaram a sua pesquisa em 11 coleções contendo, ao todo, 28 livros didáticos, nos quais as autoras identificaram 126 analogias. Dentre as contribuições das autoras destacamos o alerta feito pelas autoras sobre a necessidade de se atentar quanto ao uso de analogias, pois os alunos podem levar a analogia longe demais e, conseqüentemente, estabelecerem relações analógicas incorretas. As autoras recomendam que os alunos sejam auxiliados a identificar não somente as similaridades como também as diferenças entre os domínios. Assim como percebido por Thiele & Treagust (1994), as autoras também observaram que os autores de livros didáticos, na sua grande maioria, não discutem as limitações de uma analogia e não se preocupam se o domínio base é ou não familiar aos alunos. Consideramos essas contribuições como sendo relevantes, já que as autoras foram pioneiras nesse levantamento em livros didáticos de Química no Brasil.

Francisco Junior (2009) analisou as obras do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM 2007). O autor ao concluiu que as obras utilizadas pelo programa, no que concerne ao emprego de analogias, deveriam ser analisadas com mais rigor antes de serem disponibilizadas aos alunos de escolas públicas por acreditarem que algumas comparações poderiam ser suprimidas pelos autores dos livros didáticos, haja vista que, os livros didáticos são importantes mecanismos de homogeneização de conceitos, conteúdos e abordagens de ensino e, sendo considerado em algumas ocasiões podem ser a única alternativa para a qual o professor recorre.

Francisco Junior (2012) identificou em 212 comparações em 7 livros de Química Geral voltados ao Ensino Superior conforme demonstrado no quadro 1. O autor trouxe uma reflexão quanto o uso de analogias como instrumento didático, alegando que, por causa da existência de vantagens e desvantagens das analogias, a mediação de um professor é fundamental, uma vez que, independentemente do nível de ensino, cabe ao professor discutir os aspectos limitadores das analogias presentes em livros didáticos.

Bernardino, Rodrigues & Bellini (2013) em sua pesquisa sobre o “Livro Didático Público de Química do Estado do Paraná”, produzido por meio do Projeto Folhas, identificaram 25 analogias nos 15 capítulos do livro em questão. As autoras consideram as analogias como um recurso didático de ampla utilização em sala de aula, as considerando como potencialmente úteis na aprendizagem. As autoras concluíram em sua pesquisa que os professores poderiam ter contato com as recomendações de pesquisas quanto ao uso das analogias em textos didáticos,

além de estratégias adequadas para a apresentação dessas analogias, buscando aprimorar a aprendizagem dos estudantes.

Alvarenga (2017) teve como foco verificar como os autores de livros didáticos do PNLD 2015 exploraram algumas analogias, tendo como referencial teórico e metodológico a TME. Ele constatou que nem todos autores de livros didáticos têm dado o devido foco relacional nas comparações propostas, chegando, em alguns casos, a mencionar domínios de comparações sem focar em nenhuma correspondência. Tal fato tem nos levado a refletir se autores de livros didáticos têm feito uso consciente e eficiente de analogias, se eles têm feito apropriação das contribuições dadas por pesquisas no campo das analogias na Educação em Ciências, ou se, simplesmente, têm reproduzido de forma automática essas comparações em seus livros ao longo do tempo.

Murta (2017), em seu trabalho voltado para livros didáticos de Biologia aprovados no PNLD 2015, constatou que dentre os nove livros analisados, somente quatro deles faziam menção sobre atividades e/ou sugestões sobre o uso de analogias e metáforas nos manuais dos professores. Assim como Alvarenga (2017), Murta procurou verificar como os autores têm explorado esse recurso didático. O que nos deixa alerta é o fato desses autores utilizarem analogias e não orientarem os professores quanto ao seu uso, acreditando que os mesmos serão capazes de sanar todas as dúvidas dos alunos frente ao uso dessas comparações ditas como analogias.

Apesar das contribuições de diversos pesquisadores ao longo das últimas décadas quanto ao uso de analogias, não é possível afirmar que os autores de materiais didáticos tenham tido acesso ou mesmo buscado tais conhecimentos para aprimorarem o uso de tal recurso.

Considerando os dados encontrados nesses diversos trabalhos dedicados ao estudo de analogias em livros didáticos de Ciências, o quadro 2 apresentada um levantamento que teve por objetivo identificar quais são os principais tópicos voltados para o Ensino de Química através de materiais didáticos voltados para o Ensino Médio que utilizam mais analogias segundo os autores citados, já que esses autores desenvolveram pesquisas voltadas para analogias nesse campo de estudos.

Quadro 2³ - Tópicos com as três maiores concentrações de analogias identificadas pelos autores em livros didáticos de Química para o Ensino Médio.

Autores	Tópicos com mais analogias		
Thiele & Treagust (1994)	Estrutura Atômica (22,6%)	Ligações Química (12,9%)	Cinética Química (11,8%)
Monteiro & Justi (2000)	Estrutura Atômica (41,3%)	Cinética Química (12,7%)	Ligações Química (8,7%)
Francisco Junior (2009)	Estrutura Atômica (16,9%)	Cinética Química (11,7%)	Geometria e Estrutura molecular (8,4%)
Bernardino, Rodrigues & Bellini (2013)	Ligações Química (32%)	Estrutura Atômica (4%)	*

* As autoras não identificaram em seu artigo o terceiro tópico com mais analogias.

Fonte: Produzido pelo autor.

No levantamento dos tópicos com mais analogias demonstrado no quadro 2, percebemos que os autores de livros didáticos de Química tendem a utilizar mais comparações para os tópicos de Estrutura Atômica, Cinética Química e Ligações Químicas. Segundo Francisco Junior (2009), o emprego dessas analogias em tais conteúdos se deve ao mero hábito dos autores de materiais didáticos as empregarem, o que nos demonstra que há uma possibilidade de tais autores não refletirem quanto à necessidade real de se usar ou não analogias.

2.4 Categorias para análise de analogias em livros didáticos

Considerando o trabalho de Curtis & Reigeluth (1984) como um dos pioneiros sobre o uso de analogias em materiais didáticos, adotado como uma das referências metodológicas, por exemplo, no trabalho de Monteiro & Justi (2000), consideramos ser pertinente apresentar um tópico específico das categorias abordadas por tais autores.

Curtis & Reigeluth (idem) demonstram uma preocupação com a construção cuidadosa das analogias, pois, segundo os autores, a instrução dada pelos autores dos livros didáticos, deve assegurar que a analogia não seja levada longe demais e que o veículo, como eles chamam o domínio conhecido, seja conhecido pelo aprendiz. Os autores apresentam duas possíveis razões a respeito do uso de analogias em livros: (1^a) o fato dos autores dos livros didáticos acreditarem ser um bom recurso mediacional para o ensino dos conteúdos e (2^a) a complexidade do conteúdo a ser ensinado. Após a identificação das analogias, os autores estabeleceram

³ Os autores mencionados no quadro 1 que não foram apresentados no quadro 2, não desenvolveram às suas pesquisas para o ensino de Química voltado para o nível médio ou não apresentaram o quantitativo de analogias por tópico nos livros de Química analisados.

parâmetros que foram seguidos por diversos outros pesquisadores, dentre eles, Monteiro & Justi (2000).

Curtis & Reigeluth (1984, p.103 – 114) identificaram e caracterizaram as analogias em livros didáticos considerando:

- I. a relação analógica estabelecida entre o alvo e o análogo: (i) estrutural, quando os domínios compartilham aspectos físicos; (ii) funcional, quando o comportamento do análogo é atribuído ao alvo; ou (iii) funcional-estrutural, quando as analogias combinam ambas as relações, ou seja, combinam relações estruturais e funcionais entre os conceitos que estão sendo abordados;
- II. o formato da apresentação, classificando-as como: (i) verbal, quando o domínio base é apresentado apenas pelo modo verbal escrito, sem ilustrações; ou (ii) pictórico-verbal, quando o domínio base é apresentado por dois modos de comunicação – o verbal e o visual (ilustrações, fotografias, desenhos esquemáticos);
- III. a “condição” dos domínios comparados a respeito do nível de abstração envolvido: (i) concreto-concreto, quando os dois domínios possuem concretude; (ii) concreto-abstrato, quando o domínio alvo, diferentemente do domínio base, carece de concretude; e (iii) abstrato-abstrato, quando ambos os domínios carecem de concretude;
- IV. a localização do domínio base em relação ao domínio alvo, podendo ser anterior, durante, depois; os autores descrevem essas posições usando, respectivamente, os seguintes termos: *advance organizer* (p. 108), *embedded activator* (p. 109), *post synthesizer* ⁴(p. 109);
- V. o nível de enriquecimento, podendo ser: (i) simples, quando os domínios comparados são mencionados sem qualquer explicação adicional; (ii) enriquecidas, quando o estabelecimento da analogia, ou seja, a menção aos domínios comparados, é acompanhado de explicações e/ou de limitações; (iii) estendidas, quando mais de um domínio base são comparados com um único domínio alvo, acompanhados de explicações, ou quando são dadas várias explicações que justificam a comparação entre um único domínio base e o domínio alvo;
- VI. a orientação pré-tópico, isto é, se existe evidência de explicações adicionais da comparação, especialmente a respeito do domínio base, possivelmente acompanhada de “pistas” (chamadas pelos autores de estratégias de identificação) sobre o

⁴ Optamos por manter os termos na língua original do artigo, por não encontramos termos ou expressões na língua portuguesa que traduzissem adequadamente os seus significados.

estabelecimento da analogia como “vamos fazer uma comparação”, ou “considere a seguinte analogia”; essas orientações pré-tópico foram subcategorizadas da seguinte forma: (i) se há explicação do domínio base; (ii) se há estratégias de identificação; (iii) se ocorre ambos os procedimentos (estratégia de identificação seguida por explicação do domínio base); e (iv) se não ocorre nenhum desses procedimentos.

Dentre as categorias apresentadas por Curtis & Reigeluth (1984), optamos por utilizar as categorias II, IV e VI, por considerarmos que as mesmas nos oferecem a possibilidade de perceber determinados aspectos das analogias e outros tipos de comparação mais claros, em uma análise complementar ao que a TME nos permitiu analisar. A utilização dessas categorias pode ser vista no capítulo 5 (Resultados). Já as categorias I, III e V não foram utilizadas por não dialogarem adequadamente com a TME, de acordo com a nossa compreensão dessa teoria. Para os autores Curtis & Reigeluth (*idem*), na categoria I, comparações com foco em aspectos estruturais também se configurariam como analogias; segundo a TME (GENTNER, 1983; GENTNER & MARKMAN, 1997), essas comparações tendem a ser similaridades de mera aparência e não teriam o potencial de desencadear um raciocínio tipicamente analógico, diferentemente das comparações com foco em correspondências entre relações similares.

Na categoria III os domínios são comparados de acordo com o seu nível de abstração. Fator esse que é considerado irrelevante para a TME já que o foco deve estar nas relações que são estabelecidas entre os domínios e não nas características de ambos. Ademais, para Gentner (1984), esse tipo de comparação deve ser compreendido como uma abstração: comparação na qual tanto o domínio base quanto o domínio alvo carecem de concretude.

Em relação à categoria V, consideramos que a mesma não aborda adequadamente o nível de enriquecimento das analogias. Com base na TME, consideramos mais adequado tratar o nível de enriquecimento em termos da quantidade de relações similares colocadas em correspondência, e não como uma mera distinção entre mencionar ou não mencionar as correspondências de similaridade entre os dois domínios. Dessa forma, a classificação de Curtis & Reigeluth (1983) como simples, enriquecida ou estendida não foi adotada em nossa análise. A utilização das categorias escolhidas e a aplicação da TME podem ser vistas nas análises que foram realizadas no capítulo 5 (resultados).

2.5 Programa Nacional do Livro Didático

Segundo Santos, Terán & Silva-Forsberg (2011), o livro didático é um dos recursos mais usados pelos docentes que lecionam no Ensino Médio. Ademais, a disponibilidade regular desses materiais aos professores deve-se ao auxílio de verbas do governo federal, feita pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) e regulamentada pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE).

Esse programa é executado no âmbito do Ministério da Educação e regulamento pelo Decreto 9.099, de 18 de julho de 2017. O PNLD tem como finalidade avaliar e disponibilizar obras didáticas, pedagógicas e literárias, entre outros materiais de apoio à prática educativa, de forma regular e gratuita, às escolas públicas de Educação Básica das redes federal, estaduais, municipais e distrital e às instituições comunitárias, que não possuam fins lucrativos e que sejam conveniadas ao Poder Público (BRASIL, 2017).

Ainda de acordo com esse decreto, dentre os objetivos do PNLD estão a garantia do processo de ensino e aprendizagem nas escolas públicas de Educação Básica, visando a melhoria da qualidade da educação, a garantia do padrão de qualidade do material de apoio à prática educativa e o fomento a leitura e o estímulo à atitude investigativa dos estudantes, além, de apoiar a atualização, a autonomia e o desenvolvimento profissional do professor.

O programa é desenvolvido pelo Ministério da Educação (MEC) em parceria com FNDE. Para participar do PNLD faz-se necessário que a escola pública participe do Censo Escolar do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). A distribuição dos livros ocorre de acordo com as projeções do censo escolar realizado pelo INEP referente a dois anos anteriores ao ano do programa, sendo esse censo disponível durante o processo da escolha dos livros feita pelas escolas. Já a distribuição dos materiais é feita por meio de um contrato entre FNDE e a Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT), que é responsável por levar os livros das editoras para as escolas (BRASIL, 2019).

Os livros didáticos distribuídos pelo programa são analisados quanto a sua qualidade física, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que também acompanha o processo de produção, visando verificar se os materiais didáticos estão dentro das especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), possibilitando assim que o livro seja utilizado por três anos consecutivos, de forma a beneficiar o máximo possível de alunos. (FNDE, 2019).

2.5.1 Um breve histórico sobre o PNLD

Segundo o FNDE (2018a), o PNLD é considerado o mais antigo dos programas voltados à distribuição de obras didáticas aos estudantes da rede pública brasileira de ensino, tendo o seu início, com outra denominação, em 1937. Ao longo desses mais de 80 anos, o programa foi aperfeiçoado, tendo os mais diferentes nomes e formas de execução. Porém, para muitos pesquisadores, o programa tem suas raízes na criação, em 1929, com um órgão específico para legislar sobre as políticas voltadas para o livro didático, o Instituto Nacional do Livro (INL), que contribuiu para dar maior legitimidade ao livro didático nacional (BRASIL, 2008).

Considera-se que o INL teve o seu início em 1937, conforme o Decreto-Lei nº 93, de 21 de dezembro de 1937, no qual transforma o Instituto Cairú em Instituto Nacional do Livro (INL), tendo os seus trabalhos sediados no edifício da Biblioteca Nacional. Dentre as competências atribuídas ao INL estavam a promoção de medidas necessárias que visavam aumentar, melhorar e baratear a edição de livros no país, bem como facilitar a importação de livros estrangeiros, além de incentivar a organização e auxiliar a manutenção de bibliotecas públicas em todo o território nacional (BRASIL, 1937).

O governo federal, em 1938, instituiu a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD), constituindo assim a sua primeira política de legislação que visou controlar a produção e circulação do livro didático no Brasil (BRASIL, 1938). Em 1945, através do Decreto-Lei nº 8.460, de 26 de dezembro desse mesmo ano, o governo estabeleceu as condições sobre as quais os livros didáticos deveriam ser produzidos, importados e utilizados, cabendo ao professor escolher qual livro deveria ser utilizado pelos alunos (BRASIL, 1945).

Já em 1966, através de um acordo realizado entre o MEC e a Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional (Usaid), foi criada a Comissão do Livro Técnico e Livro Didático (Colted), que tinha como principal objetivo coordenar as ações referentes à produção, edição e distribuição do livro didático. Através desse acordo, o MEC conseguiu recursos para realizar a distribuição gratuita de 51 milhões de livros no Brasil pelo período de três anos. O acordo durou até 1971, quando o INL assumiu as atribuições administrativas e de gerenciamento dos recursos financeiros, até então a cargo da Colted, e passou também a desenvolver o Programa do Livro Didático para o Ensino Fundamental (PLIDEF) (FNDE, 2018a).

No ano de 1985, o PLIDEF cedeu lugar ao PNLD por meio do Decreto nº 91.542, de 19 de agosto de 1985, que tinha como finalidade a distribuição de livros escolares aos estudantes matriculados nas escolas públicas de 1º Grau. A execução do PNLD ficou a cargo do MEC, através da Fundação de Assistência ao Estudante (FAE), que deveria atuar em articulação com as Secretarias de Educação dos Estados, Distrito Federal e demais Territórios (BRASIL, 1985).

Somente em 1996 teve-se o início do processo de avaliação pedagógica dos livros inscritos para o PNLD, sendo publicado o primeiro “Guia de Livros Didáticos” de 1ª a 4ª série. No ano de 1997 a FAE foi extinta e o PNLD passou a ser responsabilidade integral da FNDE. O programa passou então a abranger todos os alunos de 1ª a 8ª série do ensino fundamental público. Com o decorrer dos anos, várias disciplinas e séries foram sendo adicionadas ao programa. Em 2005, o programa também passou a abranger os estudantes do Ensino Médio (EM) através da criação do Programa Nacional do Livro do Ensino Médio (PNLEM), sendo inicialmente distribuídos parcialmente livros de Matemática e Português para 1ª série do EM do Norte e do Nordeste e, em 2006, a distribuição desses livros de ocorreu para todas séries e regiões do Brasil. A Química, como disciplina curricular, foi incluída no programa somente no ano de 2007 (FNDE 2018a).

2.5.2 PNLD 2018

No PNLD 2018 foram distribuídos livros didáticos de diversas disciplinas, incluindo as das Ciências da Natureza: Química, Física e Biologia. O PNLD 2018 também trouxe uma novidade na constituição das equipes de avaliadores, pois segundo o programa, metade das equipes foi composta por avaliadores a partir do Banco de Avaliadores dos Programas Nacionais do Livro e da Leitura, e foi aberta a inscrição de professores de instituições de Ensino Superior e da Educação Básica que se interessassem em participar dos processos de avaliação educacional no âmbito do Ministério da Educação.

As coleções distribuídas no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2018 foram submetidas ao Edital CGPLI 04/2015 – PNLD2018, segundo consta no Guia PNLD 2018. Ao todo foram avaliadas 14 (catorze) obras de Química das quais, de acordo com o Diário Oficial da União (DOU), seção 1, do anexo III, de 28 de junho de 2017, 8 (oito) foram reprovadas. As 6 (seis) obras aprovadas estão apresentadas no capítulo 4 com as suas respectivas codificações, que foram analisadas neste trabalho.

Capítulo 3 – Referencial Teórico

Visando investigar as características das analogias e outros tipos de comparações identificadas nos livros didáticos de Química, utilizamos duas teorias oriundas do campo da Psicologia Cognitiva para sustentar a nossa análise: a Teoria do Mapeamento Estrutural (Structure-Mapping Theory) proposta por Dedre Gentner (GENTNER, 1983; GENTNER & MARKMAN, 1997) e Teoria das Múltiplas Restrições (*Multiconstraint Theory*) de Holyoak & Thagard (1989). A convergência dessas teorias foram utilizadas, primeiramente, por Ferry (2016) em sua investigação doutoral, ao realizar a análise de analogias e outras comparações construídas por um professor em sala de aula ao lecionar Química. Dessa forma, também optamos por adotar o trabalho de Ferry (2016) como um referencial teórico e metodológico, devido a relevância que tal trabalho para o campo de estudo das analogias.

3.1 Teoria do Mapeamento Estrutural das analogias

A Teoria do Mapeamento Estrutural (TME, em inglês, *Structure-Mapping Theory*), originalmente foi proposta por Dedre Gentner (GENTNER, 1983; GENTNER & MARKMAN, 1997), teve seu nascimento no campo da Psicologia Cognitiva e tem sido utilizada no campo da Educação em Ciências em pesquisas sobre o uso de comparações nos processos de ensino e aprendizagem (ver MOZZER & JUSTI, 2013 e 2015; FERRY, 2016; ALVARENGA, 2017; MURTA, 2017).

De acordo com a TME, nem toda comparação se configura, de fato, como uma analogia. Além das analogias, há outros tipos de comparação presentes nos mais diferentes contextos, tanto nas Ciências quanto na Educação em Ciências. A TME apresenta critérios que nos permitem distinguir as analogias desses outros tipos de comparação.

3.1.1 As analogias e os outros tipos de comparações

De acordo com a TME, analogia é um tipo de comparação que envolve um mapeamento de correspondências entre relações similares que pertencem aos domínios base e alvo, sendo o domínio base, o domínio conhecido e o domínio alvo, aquele no qual se busca a compreensão dos conceitos (GENTNER, 1983; GENTNER & MARKMAN, 1997; FERRY, 2016, 2018). Em síntese, as analogias são comparações com foco relacional.

Gentner (1983) apresenta outros dois tipos de comparações além das analogias: as similaridades de mera aparência e as similaridades literais. Nas similaridades de mera aparência, ocorre correspondências com foco quase exclusivo nos atributos que pertencem aos domínios base e alvo (tais como a cor, o tamanho, a forma). Nas similaridades literais, o foco é dado tanto sobre os atributos que pertencem aos domínios, quanto sobre as correspondências entre relações que envolvem os elementos e os atributos de ambos domínios (FERRY, 2016).

Alvarenga (2017), com base em Gentner & Markman (1997), ressalta que em uma analogia não é relevante a quantidade de correspondências entre elementos ou entre atributos dos elementos que pertencem aos domínios base e alvo, ao invés disso, deve se atentar para as relações estruturais que são atribuídas aos elementos do domínio alvo. As semelhanças que são superficiais entre os domínios não têm tanta relevância quanto as similaridades que são estabelecidas entre as relações, sendo que uma analogia serve para destacar as correspondências entre relações.

Gentner (1983) menciona um outro tipo de comparação, denominada *anomalia*, como sendo uma comparação que não envolve correspondências significativas entre atributos ou relações entre os elementos que constituem ambos os domínios. No quadro 3, demonstramos os tipos de comparações consideradas por Gentner (1983), apresentamos o foco das correspondências e demonstramos exemplos para cada uma.

Quadro 3 - Tipos de comparações, foco das correspondências e exemplos das comparações.

Tipo de comparação	Foco das correspondências	Exemplo
Analogia	Relações	A distribuição de notas de um grupo de alunos em uma avaliação escolar é como a distribuição de energia cinética de moléculas em um sistema reacional.
Mera Aparência	Atributos	A superfície de contato dos catalisadores automotivos possui estruturas semelhantes à de colmeias.
Similaridade Literal	Atributos e Relações	A velocidade da reação química entre $H_{2(g)}$ e $I_{2(g)}$ é como a velocidade da reação entre $CO_{(g)}$ e $NO_{2(g)}$.
Anomalia	Sem foco	Os catalisadores das reações químicas são como os pedais aceleradores dos carros.

Fonte: Produzido pelo autor.

Os exemplos de analogia e de mera aparência apresentados no quadro 3, foram retirados dos livros utilizados na pesquisa da presente dissertação, já os exemplos de similaridade literal e de anomalia, foram criados pelos próprios autores para o mesmo contexto, Cinética Química. Como podemos perceber nos exemplos acima, no caso das analogias, as correspondências

podem ser estabelecidas entre relações, não havendo atributos relevantes (predicados descritivos) entre as notas obtidas por alunos com os valores de energia cinética de moléculas em um sistema reacional. Já em relação a anomalia, embora pareça haver uma similaridade entre a ação dos catalisadores e a ação dos pedais aceleradores dos carros, de fato, não há nenhum atributo correspondente entre os domínios e, muito menos, relações que descrevem o papel dos catalisadores em um sistema reacional e a ação dos pedais na aceleração de um carro.

Para Gentner & Markman (1997), as analogias possuem um papel cognitivo superior ao das comparações por mera aparência ou das similaridades literais. Os autores afirmam que, embora essas últimas possam ser atraentes e úteis, elas possuem poder explicativo limitado. Em sua tese de doutorado, Ferry (2016) argumenta que a distinção das comparações com base nos predicados mapeados nos dois domínios, base e alvo, são uma escolha que está vinculada à Psicologia Cognitiva e que tal distinção desconsidera aspectos discursivos importantes que são relevantes quando se investiga os efeitos de sentido que uma comparação possa vir a apresentar em um contexto sócio-histórico específico. Para Ferry (idem), a distinção entre comparações não pode ser realizada, somente, por critérios lógicos e quantitativos.

Além das comparações já apresentadas, Gentner (1983) apresenta outro tipo de comparação: as metáforas. A autora traz um exemplo ao comparar uma mulher com uma girafa, tendo como objetivo relatar que a mulher é alta: “Ela é uma girafa”. Segundo Mozzer & Justi (2015, p.132), baseadas em Aubusson, Harrison & Ritchie (2006)⁵ e Duit (1991), enquanto as analogias possuem relações entre os domínios que são explicitamente mapeadas, as metáforas possuem comparações que estão implícitas e os seus atributos e relações não são coincidentes entre os domínios.

Gentner & Markman (1997) dividem as metáforas em dois grupos: o das metáforas baseadas em atributos e o das metáforas relacionais, isto é, baseadas em relações. Para Ferry (2016), essas diferenças entre esses dois grupos de metáforas são semelhantes às diferenças entre as analogias e similaridades de mera aparência.

⁵ AUBUSSON, P.J.; HARRISON, A.G.; RITCHIE, S.. **Metaphor and analogy**: serious thought in science education. In: AUBUSSON, P.J.; HARRISON, A.G.; RITCHIE, S.M. (Orgs.). *Metaphor and Analogy in Science Education*. Dordrecht: Springer. 2006. p.1-9.

3.1.2 Limitações das comparações

Pesquisadores que utilizam a TME como referencial, dentre eles, Mozzer & Justi (2013, 2015), Ferry (2016, 2018) e Alvarenga (2017), demonstram a preocupação de se negligenciar as limitações das analogias que por ventura vierem a ser utilizadas em situações de ensino. Baseados nesses autores, entendemos que se faz necessário que o professor e/ou autor de materiais didáticos se atentem na identificação e discussão das limitações das analogias, para que o aluno não transfira ideias equivocadas do domínio base para o domínio alvo da analogia.

Apesar das analogias serem um importante recurso mediacional, é importante se atentar a dificuldades ou problemas que possam surgir quanto ao seu uso. Duarte (2005, p.12) baseada em Duit (1991), Newton (2000)⁶ e Treagust et al (1992)⁷, destaca alguns desses pontos a respeito do uso de analogias no ensino de Ciências:

1. a analogia pode vir a ser interpretada como o conceito em estudo, sendo retido apenas os detalhes mais evidentes e apelativos, sem conseguir chegar a atingir o resultado que se pretendia;
2. pode não vir a ocorrer um raciocínio analógico que gere à compreensão da analogia;
3. a analogia pode não ser reconhecida, além de poder não ficar explícita a sua utilidade;
4. os estudantes podem apenas centrar-se nos aspectos positivos da analogia, ignorando as limitações.

Baseado em Duarte (2005) e Francisco Junior (2012), consideramos que seja relevante que os professores busquem estabelecer as similaridades e diferenças das analogias entre o DB e DA, assim como as suas limitações durante a construção das mesmas. O professor deve assumir o compromisso de mediar a compreensão do conceito científico através da analogia, esclarecendo as similaridades e limitações, além de buscar a constatação de que tal conceito foi compreendido pelos alunos (BOZELLI & NARDI, 2006 e 2012).

Dentro do contexto da TME, Markman & Gentner (1996, p.236-237) apresentam dois conceitos relevantes para a identificação de limitações nas analogias, sendo esses conceitos

⁶ NEWTON, D. (2000). **Supporting Understanding with Analogies**. Teaching for understanding: what it is and how to do it. London: RoutledgeFalmer, 71-85.

⁷ TREAGUST, D., DUIT, R., JOSLIN, P. & LINDAUER, I. (1992). Science Teachers' **Use of Analogies: Observations from Classroom Practice**. International Journal of Science Education, 14 (4), 413-422

denominados por: diferenças alinháveis (*alignable differences*) e diferenças não-alinháveis (*nonalignable differences*) entre os domínios que estão sendo comparados. Os autores argumentam que as diferenças alinháveis possuem elementos correspondentes, mas que se distinguem entre os atributos comuns. Para ilustrar as diferenças alinháveis, Markman & Gentner (1996, p.237), trazem um exemplo de uma comparação entre um carro e uma motocicleta. Nessa comparação os autores listam que o aspecto comum entre eles é o fato de ambos possuírem rodas e que a diferença alinhável seria que o carro possui quatro rodas enquanto a moto possui apenas duas rodas. Para os autores, as diferenças alinháveis não podem ser determinadas até que as semelhanças entre os domínios sejam estabelecidas. Já as diferenças não alinháveis seriam as entidades (elemento, atributo ou relação) que não possuem correspondência entre os domínios. Ferry (2018) argumenta que através da TME é possível identificar e analisar as diferenças entre os domínios, de modo a evitar que ocorram transposições de ideias equivocadas do DB para o DA. Ferry (2018) entende que as diferenças não alinháveis se aproximam daquilo que a literatura adota como limitações das analogias e que as limitações apontam características ou condições nas quais as comparações não podem se aplicar. Devido ao referencial teórico adotado no presente trabalho, optamos por utilizar as considerações de Ferry (2018). Desse modo, adotamos os conceitos das diferenças alinháveis e das limitações.

3.1.3 Mapeamento Estrutural

Na Teoria do Mapeamento Estrutural das comparações, Gentner (1983, p.158) apresenta a estrutura do mapeamento das correspondências entre os domínios utilizando o seguinte padrão de representação:

$$A(b_i) \rightarrow [A(t_i)] \quad (1)$$

Na expressão 1 ocorre a representação de uma correspondência entre atributos, ou seja, um atributo (A) de algum elemento ou objeto do domínio base (b_i) com um atributo de algum elemento ou objeto do domínio alvo (*target*- t_i).

$$R(b_i, b_j) \rightarrow [R(t_i, t_j)] \quad (2)$$

Na expressão 2, semelhantemente que ocorre na expressão 1, há uma correspondência entre relações consideradas de primeira ordem, sendo relações que ocorrem entre dois ou mais elementos que compõem cada domínio da comparação. Nessa expressão haveria uma

correspondência entre uma relação dos objetos b_i e b_j , que pertencem ao domínio base, e uma relação entre os objetos do domínio alvo t_i e t_j .

$$R' (r_1 (b_i, b_j), r_2 (b_k, b_l)) \rightarrow [R' (r_1 (t_i, t_j), r_2 (t_k, t_l)) \quad (3)$$

Na expressão 3, temos uma representação de uma correspondência dita de ordem superior (*higher-order relation*), representada pelo símbolo R' , ou seja, temos uma relação entre relações, sendo uma relação entre relações menos complexas r_1 e r_2 .

No capítulo da metodologia desta dissertação, apresentamos o quadro 5 com os padrões de representação das correspondências para o mapeamento estrutural de algumas comparações encontradas nos livros didáticos. Consideramos que esse quadro, elaborado por Ferry (2018) a partir da TME e das notações simbólica de Gentner (1983), apresenta códigos mais compreensíveis para as representações das correspondências de similaridade mapeáveis, por entendermos que esse padrão de representação é menos dependente de notações algébricas, sendo possivelmente mais legíveis aos não familiarizados com esse tipo de linguagem.

3.2 Restrições estruturais das analogias

Genter & Markman (1997) apresentam três restrições (ou regras) que, segundo eles, devem ser observadas para análise de comparações potencialmente analógicas:

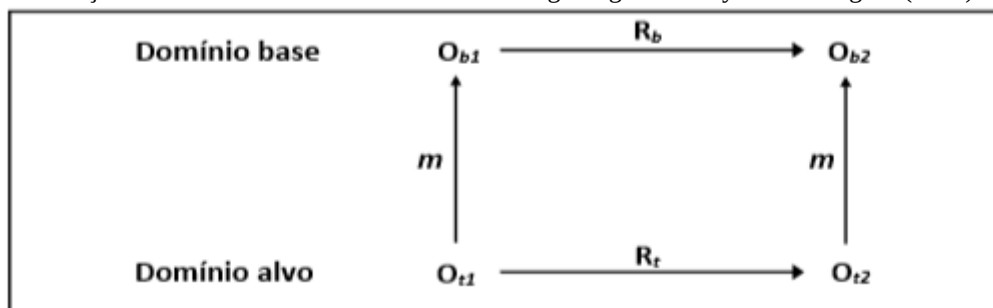
- (1) **Consistência estrutural** – uma analogia possui consistência estrutural ao estabelecer uma correspondência um a um entre os elementos e atributos dos domínios base e alvo, sendo que um elemento ou atributo do domínio base, deve corresponder a somente um elemento ou atributo do domínio alvo, além de haver uma conectividade em paralelo entre suas relações colocadas em correspondência;
- (2) **Foco relacional** – uma analogia deve possuir relações comuns, não sendo necessário possuir descrições de elementos em comum, pois o foco de uma analogia deve estar nas relações e não nos atributos dos elementos dos domínios comparados;
- (3) **Sistematicidade** – em uma analogia deve predominar a combinação de sistemas de relações conectadas por relações de ordem superior, isto é, relações entre relações; as relações devem estar conectadas, e não constituídas apenas por atributos dos elementos ou relações simples (relações de primeira ordem).

Holyoak & Thagard (1989, p.304) também ofereceram contribuições para análise do potencial analógico de uma comparação. Eles apresentaram mais três “restrições psicológicas”:

- (1) **Isomorfismo** – uma analogia deve apresentar certo isomorfismo entre o domínio base e o domínio alvo, facilitando assim o estabelecimento das correspondências entre os elementos e atributos nas relações estabelecidas. Essa restrição diz respeito ao modo como os domínios das analogias são enunciados; se os enunciados referentes ao domínio base apresentarem formas/estruturas semelhantes aos enunciados referentes ao domínio alvo, dizemos que a comparação se configura como uma analogia isomorficamente bem construída.
- (2) **Similaridade Semântica** – uma analogia deve ser constituída por correspondências entre entidades (elementos, atributos e relações) semanticamente semelhantes. Ferry (2016) acrescenta que a falta de similaridade semântica, poderia produzir uma comparação que Gentner (1983) chama de anomalia.
- (3) **Centralidade pragmática** – a analogia deve ser coerente com o propósito pela qual foi construída. Ferry (2016, 2018) se apropriou do termo como adequação pragmática.

Na figura 1, demonstramos as condições básicas que caracteriza o isomorfismo segundo Holyoak & Thagard (1989), na qual a letra **m** corresponde *mapeamento* e a letra **O** corresponde ao *objeto*.

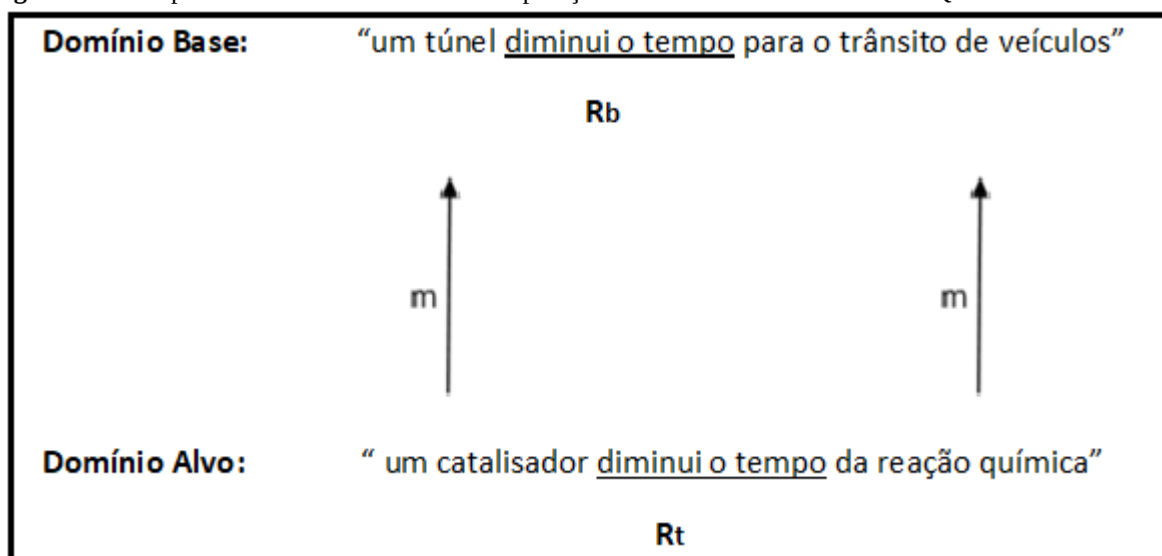
Figura 1 - Condições básicas de isomorfismo em uma analogia segundo Holyoak & Thagard (1989).



Fonte: Ferry (2016), feito a partir de Holyoak & Thagard (1989, p.300)

Para exemplificarmos no que consiste o isomorfismo, representado pela figura 1, demonstramos na figura 2 uma comparação retirada de um livro de Química, entre um túnel que permite ao motorista vencer a montanha mais rapidamente e a adição de um catalisador em uma reação química.

Figura 2 - Exemplo de isomorfismo em uma comparação feita no conteúdo de Cinética Química.

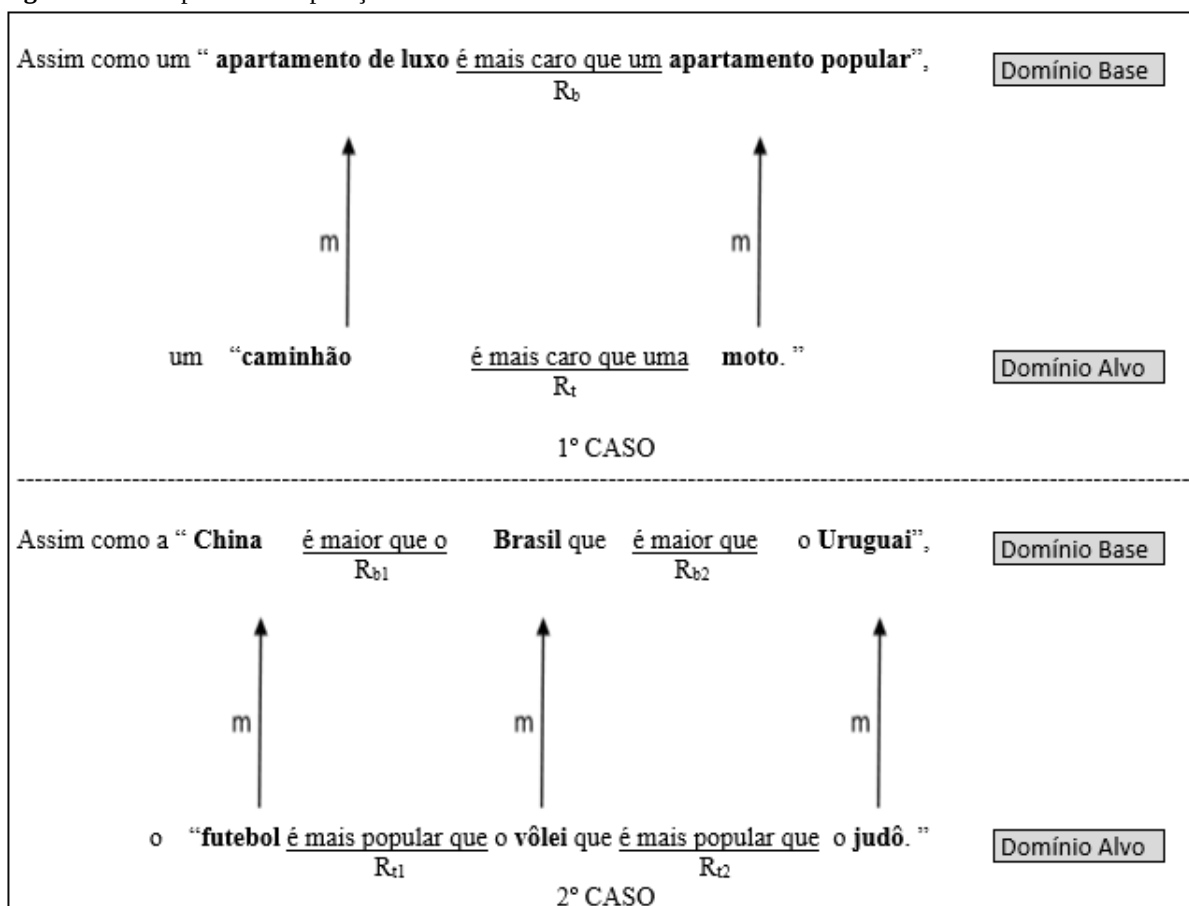


Fonte: Figura elaborado pelo autor.

Na figura 2, podemos evidenciar que nessa restrição cada elemento do domínio base (túnel/local) corresponde a um único elemento do domínio alvo (catalisador/reação química), e que dois elementos do domínio alvo não correspondem a dois elementos do domínio base. Isso nos permite evidenciar que, de acordo com a teoria proposta por Holyoak & Thagard (1989), dois elementos de um mesmo domínio não podem corresponder a somente um elemento do outro domínio.

A figura 3 se refere a restrição de similaridade semântica proposta por Holyoak & Thagard (idem) Nesse exemplo, demonstramos dois casos que ressaltam a importância dessa restrição, e que segundo Alvarenga (2017), está associada ao isoformismo, na sua construção e na compreensão das comparações.

Figura 3 - Exemplos de comparações envolvendo diferentes similaridades semânticas.



Fonte: Figura elaborado pelo autor a partir dos exemplos de Holyoak & Thagard (1989) e Ferry (2016).

No primeiro caso do exemplo, podemos perceber que há um isoformismo e um paralelismo estrutural entre os elementos (dois imóveis do domínio base e dois veículos no domínio alvo) e entre relações (“é mais caro que”). Nesse exemplo há presença de contextos semelhantes, haja vista que ao se utilizar a expressão – “é mais caro que” – em ambos os domínios, percebemos que o que se pretende é fazer uma relação que se refere ao valor econômico dos objetos em estudo. Já em relação ao segundo caso do exemplo, é possível se perceber um isomorfismo, pois pode-se estabelecer uma certa correspondência entre o domínio base (China, Brasil e Uruguai) e o domínio alvo (futebol, vôlei e judô), porém não é possível se estabelecer uma similaridade semântica entre as relações correspondentes, pois enquanto o domínio base se refere ao tamanho territorial dos países, o domínio alvo se refere a popularidade dos esportes, o que demonstra nesse segundo caso uma baixa similaridade semântica.

A terceira restrição descrita na teoria, é a centralidade pragmática, que segundo Holyoak & Thagard (1989), atua como uma pressão que favorece o estabelecimento de correspondências importantes tanto para quem faz a analogia, quanto para quem a usa. Para exemplificar essa terceira restrição usamos as duas comparações que aparecem no trabalho de Ferry (2016) sobre

o modelo atômico de Bohr, sendo a primeira comparação entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar, e a segunda comparação entre o modelo e uma escada:

A primeira comparação tem o propósito de descrever a disposição espacial das partículas que constituem o átomo, bem como o movimento relativo dos elétrons e do núcleo atômico. No entanto, essa analogia não é efetiva para explicar como o átomo recebe e libera energia do ambiente a sua volta. A comparação entre o átomo de Bohr e a escada tem essa finalidade, pois destaca a impossibilidade de uma pessoa ficar estacionada entre dois degraus de uma escada, impossibilidade essa que é análoga àquela que impede um elétron de permanecer situado entre dois níveis de energia permitidos no poço de potencial que é criado pela interação entre o núcleo atômico e os elétrons. (FERRY, 2016, p.62)

Baseados nas teorias que foram apresentadas nesse capítulo, entendemos que nem toda comparação pode ser considerada uma analogia e que, para serem consideradas como tal, devem atender às três restrições propostas por Gentner & Markman (1997), isto é, devem ser estruturalmente consistentes, sistemáticas e apresentar foco relacional. Além disso, consideramos que uma analogia deva apresentar enunciados isomórficos, correspondências entre entidades semanticamente semelhantes e ser pragmaticamente adequada ao propósito de quem a constrói. Esses aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos foram utilizados na análise das analogias a partir dos mapeamentos estruturais apresentados no capítulo 5.

Capítulo 4 – Metodologia

Neste capítulo apresentamos a metodologia desenvolvida para análise das comparações identificadas nos livros didáticos de Química da década de 1990 e contemporâneos, incluindo os critérios que foram adotados para a seleção das obras e dos tópicos de conteúdo curricular de interesse para análise. Apresentamos também o padrão de representação do mapeamento estrutural das comparações potencialmente analógicas que foi adotado para análise, além da nossa metodologia utilizada para analisar as comparações encontradas na abordagem da Cinética Química nos livros didáticos.

4.1 Livros didáticos e escolha do tópico de conteúdo

Os livros didáticos analisados em nossa investigação foram organizados em dois grupos: o dos livros didáticos antigos (LDA) e o dos livros didáticos novos (LDN). Consideramos em nossa pesquisa como livros didáticos antigos, os livros da década de 1990 e o livro Química na abordagem do cotidiano (LDA-6), adotados na presente pesquisa e consideramos como livros didáticos novos os livros que foram aprovados no Programa Nacional do Livro Didático para o triênio 2018, 2019 e 2020. Os livros do primeiro grupo (LDA) foram selecionados a partir da relação dos livros citados na análise realizada por Monteiro & Justi (2000), aos quais tivemos acesso parcial. O segundo grupo foi constituído pelos livros didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o triênio 2018, 2019 e 2020, segundo o Edital de convocação 04/2015.

Monteiro & Justi (idem), analisaram 11 coleções didáticas, sendo que 6 delas, segundo as autoras, apresentavam analogias no tópico de Cinética Química. Dentre essas coleções que apresentaram analogias para o tópico desse estudo, tivemos acesso a três, devido a disponibilidade deles e a inacessibilidade do restante dos livros. Apesar do livro LDA-6, não constar na relação analisada pelas autoras, o mesmo encontrava-se à disposição no banco de livros do grupo de pesquisa no qual a presente investigação foi desenvolvida e também continha analogias para explicar conceitos de Cinética Química.

O Quadro 4 apresenta os títulos, os nomes dos autores e autoras, a editora, o ano e a edição dos livros antigos e dos livros novos, codificados, respectivamente, por LDA (livros didáticos antigos) e LDN (livros didáticos novos), acompanhados por um código numérico atribuído arbitrariamente.

Quadro 4 - Livros didáticos de Química avaliados quanto a presença de analogias em relação ao conteúdo Cinética Química.

Livro	Título da obra	Autores/Autoras	Editora	Ano	Edição
LIVROS ANTIGOS					
LDA-1	Química	Vera Lúcia Duarte de Novais	Atual	1993	*
LDA-2	Química	Dácio Rodney Hartwig Edson de Souza Ronaldo Nascimento Mota	Scipione	1999	1 ^a
LDA-3	Curso de Química	Antônio Sardella	Ática	1998	18 ^a
LDA-4	Introdução ao Estudo da Química	Eduardo Fleury Mortimer	CECIMIG	1997	4 ^a
LDA-5	Introdução ao Estudo da Química	Eduardo Fleury Mortimer Andréa Horta Machado	CECIMIG	1999	2 ^a
LDA-6	Química na abordagem do cotidiano	Francisco Miragaia Peruzzo (Tito) Eduardo Leite do Canto	Moderna	2006	4 ^a
LIVROS NOVOS					
LDN-1	Vivá	Vera Lúcia Duarte de Novais Murilo Tissoni Antunes	Positivo	2016	1 ^a
LDN-2	Ser Protagonista	Lia Monguilhott Bezerra. <i>et al</i>	SM	2016	3 ^a
LDN-3	Química	Carlos Alberto Mattoso Ciscato Luis Fernando Pereira Emiliano Chemello Patrícia Barrientos Proti	Moderna	2016	1 ^a
LDN-4	Química	Eduardo Fleury Mortimer Andréa Horta Machado	Scipione	2016	3 ^a
LDN-5	Química	Martha Reis Marques da Fonseca	Ática	2016	2 ^a
LDN-6	Química Cidadã	Wildson Luiz Pereira dos Santos Gerson de Souza Mól	AJS	2016	3 ^a

Fonte: Elaborado pelo autor / *Não foi mencionada a edição do livro em questão pela editora responsável pela obra.

Para a realização da pesquisa, devido ao pouco tempo disponível, consideramos que uma análise de todos os tópicos de conteúdo dos 12 livros selecionados tornaria a pesquisa exaustiva e inviável, portanto, optamos por selecionar um tema para o qual o emprego de analogias fosse frequente.

O levantamento realizado, no tópico 2.3 do capítulo de revisão bibliográfica desta dissertação, nos permitiu enxergar para quais tópicos de conteúdo da Química o emprego de analogias, como recurso mediacional por autores de materiais didáticos, tem sido mais

frequente. Com isso, identificamos que os tópicos com maior frequência do emprego de analogias são: Estrutura Atômica, Cinética Química e Ligações Químicas. Entre esses três grandes tópicos de conteúdo para o Ensino Médio, optamos por realizar nossa investigação das analogias no contexto da Cinética Química, no lugar das teorias atômicas ou das ligações químicas, por dois motivos: (1º) devido ao grande número de trabalhos de pesquisa já existentes sobre o uso de analogias sobre Estrutura Atômica; (2º) por considerar o tópico da Cinética Química mais relacional e menos estrutural do que o das teorias atômicas e o das ligações químicas, o que possivelmente favorece o estabelecimento de comparações com caráter mais analógico do que as que estariam focadas na descrição de aspectos estruturais das entidades de interesse científico tomadas como alvo do seu estabelecimento.

Com o tema da pesquisa definido, procuramos identificar as comparações que estavam presentes nos textos dos capítulos e seções dos tópicos e subtópicos que abordavam o conteúdo de Cinética Química através da leitura integral. Buscamos, exaustivamente, trechos que sugeriam o estabelecimento de comparações, por meio da identificação de palavras ou expressões típicas do estabelecimento de analogias, tais como: “... é semelhante a...”, “... é como se fosse...”, etc. O levantamento das comparações nos livros didáticos também foi realizado por meio da identificação de ilustrações (fotografias, desenhos, esquemas etc) que apresentavam entidades pertencentes a outros domínios diferentes do contexto da Química, que sugeriam o estabelecimento de analogias. Por exemplo, a foto de um túnel encontrada em uma seção dedicada ao papel de catalisadores em reações químicas.

4.2 Metodologia para análise das comparações

Em nossa pesquisa seguimos algumas etapas que consideramos ser relevantes na identificação de comparações como possíveis analogias. Na 1ª etapa fizemos o levantamento das comparações nos livros didáticos previamente selecionados. Através de uma leitura minuciosa, identificamos quais eram os domínios presentes em cada comparação e quais eram os propósitos contextuais.

Na 2ª etapa, inspirados em Alvarenga (2017), estabelecemos critérios para o procedimento de análise do modo como comparações potencialmente analógicas são abordadas nos dois grupos de livros analisados, sendo esses critérios: (1º) a comparação deveria estar

presente em ao menos duas⁸ obras de Química avaliadas; (2º) a comparação deveria apresentar o domínio base em comum com as outras comparações identificadas nos materiais didáticos; (3º) a comparação deveria estar associada ao mesmo tópico de estudo.

Na 3ª etapa utilizamos as categorias⁹ de Curtis & Reigeluth (1984) que julgamos como mais relevantes e que foram abordadas por Francisco Junior *et al* (2009, 2011 e 2012), Monteiro & Justi (2000), Thiele & Treagust (1994) e Thiele, Venville & Treagust (1995). Dessa forma utilizamos as seguintes categorias para análise preliminar das comparações em estudo: (i) formato da apresentação da analogia; (ii) orientação pré-tópico; (iii) posição do domínio base em relação ao domínio alvo; (iv) condição (nível de abstração) dos conceitos da analogia e do alvo; (v) apresentação da discussão sobre as limitações das analogias.

- (i) **Formato da apresentação** – nessa categoria discutimos se a comparação é verbal, ilustrativa ou ilustrativa-verbal, e caso seja ilustrativa, se a mesma apresenta ilustração para somente um domínio ou se para ambos;
- (ii) **Orientação pré-tópico** – se o(s) autor(es) identifica(m) e/ou apresenta(m) a estratégia utilizada para que os leitores possam identificar que o texto contém uma analogia;
- (iii) **Posição da comparação** – qual a posição do domínio base em relação ao domínio alvo (antes, durante, depois ou à margem);
- (iv) **Condição (nível de abstração)** – domínio base (concreto ou abstrato) e domínio alvo (concreto ou abstrato);
- (v) **Limitações** – se há discussão sobre as limitações que possam ocorrer devido ao uso da analogia em questão.

Na última etapa, selecionamos as comparações e realizamos o mapeamento estrutural de acordo com o referencial teórico adotado nesse trabalho.

Na próxima seção apresentamos os padrões utilizados na análise das comparações, a fim de classificá-las quanto ao tipo. A aplicação das categorias citadas acima pode ser vista no capítulo 5.

⁸ Assim como Alvarenga (2017), optamos pela escolha de comparações presentes em pelo menos duas obras didáticas de Química, por encontrarmos dificuldade de encontrar uma comparação em todas as obras selecionadas para o presente estudo.

⁹ Acreditamos ser pertinente abordar essas comparações, devido a Monteiro & Justi (2000) terem utilizado essas categorias e sendo as autoras referência para presente pesquisa.

4.3 Padrão de Representação do Mapeamento Estrutural

Em nossa pesquisa seguimos o padrão de representação elaborado por Ferry (2016, 2018), com base na teoria de Gentner (1983), para mapear as comparações previamente selecionadas em nosso estudo.¹⁰ As comparações selecionadas foram mapeadas estruturalmente por meio do alinhamento entre os elementos, atributos e relações similares entre o domínio alvo (DA) e o domínio base (DB).

Para representar as correspondências entre elementos (objetos, estados ou processos), atributos ou relações pertencentes aos domínios fizemos o uso de setas bidirecionais. As representações de correspondências entre os elementos dos domínios são acompanhadas pela letra maiúscula E, e os atributos são acompanhados pela letra maiúscula A, tanto os elementos quanto os atributos foram identificados por números, que servem para identificar o número de correspondências que se encontra presente no mapeamento (ALVARENGA 2017, FERRY 2016).

Assim como orienta Ferry (2016, p.78-79), as representações das correspondências entre relações devem ser acompanhadas pela letra r (minúscula) ou R (maiúscula), e por números. A relação dita como de primeira ordem é representada pela letra minúscula (r) e as relações de segunda ordem ou de ordem superior, pela letra maiúscula (R). O autor ainda nos traz um exemplo de utilização desses códigos.

Por exemplo, o código $r_1(E_2, E_1)$ indica uma relação de primeira ordem entre o segundo e o primeiro elemento que foram mapeados tanto no DB, quanto no DA para, então, serem colocados em correspondência. Da mesma forma, o código $r_2(A_2, A_1)$ indica uma relação de primeira ordem que, todavia, tem como foco dois atributos cuja correspondência foi mapeada nos dois domínios. Já o código $R_1(r_2, r_1)$ indica uma relação de segunda ordem, ou seja, uma relação entre as relações r_2 e r_1 que foram mapeadas nos dois domínios. (FERRY, 2016, p.79)

Ferry (2018) nos apresenta outros dois códigos utilizados no mapeamento estrutural: L_n (limitações das comparações) e D_n (diferenças alinháveis). Para ambos os casos, as setas bidirecionais devem ser marcadas com um sinal gráfico semelhante à letra X, que foi demonstrado adiante no quadro 5 (Padrão atualizado de representação de correspondências no mapeamento das comparações). As diferenças alinháveis são características ou relações que estão presentes em um domínio e que são diferentes no outro domínio, conectadas a correspondência de similaridade previamente mapeadas. As limitações podem ser

¹⁰ Para realizar o mapeamento das comparações encontradas utilizamos o software para mapeamento estrutural de analogias desenvolvido por Barbosa & Ferry (2018).

compreendidas de três diferentes formas: ou como condições nas quais a analogia não se aplica, ou como aspectos do domínio base que não podem ser transferidos para o domínio alvo, ou ainda como aspectos do domínio alvo que não encontram correspondência no domínio base (FERRY, 2018, p. 112).

Ainda sobre essa categoria – a discussão ou não das limitações – Monteiro & Justi (2000, p.72) criaram subcategorias para análise: o reconhecimento ou não da existência de limitações, e a ocorrência ou não de discussão dessas limitações. As autoras justificaram que em algumas situações os autores de livros didáticos chegam a reconhecer a existência de limitações, mas não as discutem, e em outras situações discutem pelo menos uma delas. Esse critério utilizado pelas autoras foi adotado em nossa análise, buscando-se verificar se os autores reconhecem as limitações das analogias utilizadas pelos mesmos e se fazem alguma discussão.

Ferry (2018), em seu livro intitulado “Pesquisas sobre Analogias no contexto da Educação em Ciências à luz da Teoria do Mapeamento Estrutural (*Structure-mapping theory*)”, nos traz um padrão de representação atualizado do Mapeamento Estrutural. Segundo o autor, houve uma evolução da ferramenta devido as contribuições de outros trabalhos que a utilizaram. Por considerarmos essa atualização relevante, apropriamo-nos de tais modificações para análise das analogias presentes nesse estudo. O autor, para endossar a relevância dessa teoria, nos traz alguns princípios que considera pertinente sob a perspectiva da teoria em questão:

(1º) **nem todo tipo de comparação se configura como uma analogia**; no ensino de ciências é possível encontrar diferentes tipos de comparação, como as de mera aparência, as similaridades literais, as abstrações, as anomalias, as metáforas baseadas em atributos e as contra-analogias;

(2º) as analogias são comparações estruturalmente consistentes que nos permitem não somente estabelecer correspondências um a um entre elementos constituintes dos domínios base e alvo, mas também reconhecer uma conectividade em paralelo entre os argumentos constituintes das relações colocadas em correspondências, seja na construção ou na interpretação das analogias; essas relações em correspondência constituem o foco das analogias;

(3º) uma analogia é um tipo de comparação com foco relacional estabelecida para compreender um domínio desconhecido ou pouco conhecido a partir de outro domínio familiar, seja para quem constrói a analogia ou para quem a interpreta;

(4º) uma analogia não se limita a uma única correspondência entre os dois domínios comparados; uma analogia pode permitir o estabelecimento de inúmeras correspondências entre os dois domínios.

(FERRY, 2018, p.110, grifo nosso)

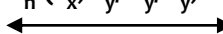
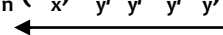
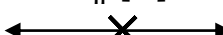
Apesar de já termos definido o conceito de analogia em nosso referencial teórico, consideramos ser de grande valia trazer tais princípios antes de apresentarmos o padrão atual

do mapeamento estrutural, haja vista que, assim como citado pelo autor, esses princípios são considerados como conhecimentos essenciais e necessários para que se possa compreender a metodologia de análise proposta através do mapeamento estrutural. No quadro 5 podemos visualizar o padrão utilizado.

Quadro 5 - Padrão de representação de correspondências entre domínios para mapeamento de comparações potencialmente analógicas.

DOMÍNIO BASE	REPRESENTAÇÕES DAS CORRESPONDÊNCIAS	DOMÍNIO ALVO
Elementos da base	$\longleftrightarrow E_n$	Elementos do alvo
Elementos que compõem o DB	<i>Correspondências entre elementos devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra E</i>	Elementos que compõem o DA
Atributos dos elementos do DB	$\longleftrightarrow A_n(E_x)$	Atributos dos elementos do DA
Predicados descritivos relevantes dos elementos mapeados no DB.	<i>Correspondências entre atributos devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra A; Cada correspondência dessa natureza deve possuir um único argumento, ou seja, deve estar baseada em uma única característica.</i>	Predicados descritivos relevantes dos elementos mapeados no DA.
Relações de 1ª ordem do DB	$\longleftrightarrow r_n(E_x/A_x, E_y/A_y, \dots)$	Relações de 1ª ordem do DA
Relações entre dois ou mais elementos do DB ou entre suas características; relações de ordem estrutural que dizem respeito ao modo como os elementos do DB estão dispostos entre si.	<i>Correspondências entre relações de menor complexidade devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra r (minúscula); Cada correspondência dessa natureza deve possuir, no mínimo, dois argumentos.</i>	Relações entre dois ou mais elementos do DA ou entre suas características; relações de ordem estrutural que revelam como os elementos do DA estão dispostas entre si.

Quadro 5 - Padrão de representação de correspondências entre domínios para mapeamento de comparações potencialmente analógicas (continuação).

Relações de 2ª ordem do DB	$R_n (r_x, r_y/A_y/E_y, \dots)$ 	Relações de 2ª ordem do DA
Relações existentes entre relações previamente postuladas entre elementos do DB, ou entre uma relação de 1ª ordem com outros elementos/atributos.	<i>Correspondências entre relações mais complexas que devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra R (maiúscula);</i> <i>Cada correspondência dessa natureza deve possuir ao menos uma relação de 1ª ordem como um dos seus argumentos.</i>	Relações existentes entre relações previamente postuladas entre elementos do DA, ou entre uma relação de 1ª ordem com outros elementos/atributos.
Relações de ordem superior do DB	$R_n (R_x, R_y/r_y/A_y/E_y, \dots)$ 	Relações de ordem superior do DA
Relações existentes entre relações do DB, das quais ao menos uma se configura como uma relação de 2ª ordem.	<i>Correspondências entre relações de maior complexidade devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra R (maiúscula);</i> <i>Cada correspondência dessa natureza deve possuir ao menos uma relação de 2ª ordem como um dos seus argumentos.</i>	Relações existentes entre relações do DA, das quais ao menos uma se configura como uma relação de 2ª ordem.
Determinados atributos ou relações do DB	$D_n: [\dots]$ 	Determinados atributos ou relações do DA
Características ou relações presentes no DB, conectadas a pontos em correspondência, que não podem ser transferidas para o alvo.	<i>Diferenças alinháveis</i> <i>As setas bidirecionais devem ser marcadas com um sinal gráfico semelhante à letra X, e devem ser acompanhadas pela letra D.</i>	Características ou relações presentes no DA, conectadas a pontos em correspondência, mas que são diferentes da base.
Atributos ou Relações do DB ausentes no DA	$L_n: [\dots]$ 	Atributos ou Relações do DA ausentes no DB
Condições ou características do DB para as quais a comparação não se aplica; elementos, atributos ou relações do DB que não devem ser “transferidos” para o DA.	<i>Limitações da comparação</i> <i>As setas bidirecionais devem ser marcadas com um sinal gráfico semelhante à letra X, e devem ser acompanhadas pela letra L.</i>	Condições do DA para as quais a comparação não se aplica; elementos, atributos ou relações do DA que não encontram correspondência no DB.

Fonte: Ferry (2018, p.111-112)

4.4 Procedimentos para análise das comparações dos livros didáticos de Química

A partir do mapeamento estrutural, analisamos as comparações analógicas seguindo quatro aspectos estruturais dos que foram apresentados por Holyoak & Thagard (1989) e Gentner & Markman (1997) e descritos anteriormente na fundamentação teórica:

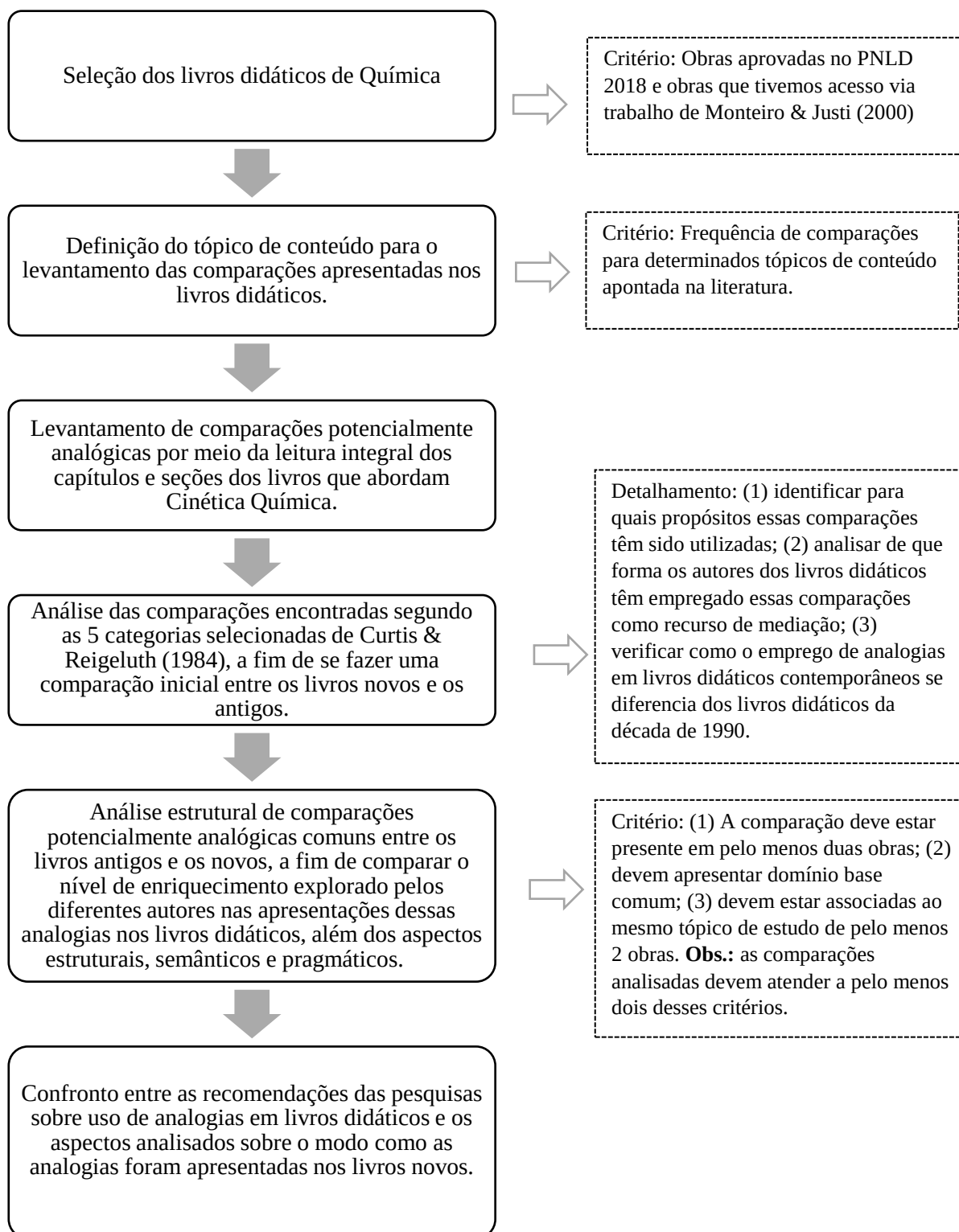
- (1) **Consistência estrutural** – avaliamos se havia correspondência um a um entre os elementos e atributos dos domínios, de modo que um elemento/atributo de um domínio não correspondesse a mais de um elemento/atributo do outro domínio. Verificamos também se havia conectividade em paralelo entre os argumentos das relações colocadas em correspondência.
- (2) **Foco relacional** – procuramos identificar, nas comparações, aonde estava o foco das mesmas; se estava nas relações, ou se focava nos atributos/elementos dos domínios apresentados.
- (3) **Sistematicidade** – verificamos nas analogias encontradas se havia relações de ordem superior (relações entre relações), ou se as analogias mapeadas eram constituídas por relações de primeira ordem, ou seja, se eram constituídas apenas por relações entre atributos dos elementos ou entre os próprios elementos.
- (4) **Similaridade Semântica** - verificamos se as entidades em correspondência no mapeamento (elementos, atributos e relações) apresentavam significados contextuais semelhantes.

Consideramos analogias as comparações que atendiam, ao menos, os critérios 1, 2 e 3. Já as comparações cujo foco não estava nas relações, as consideramos, conforme nosso referencial teórico, como similaridades de mera aparência.

Na análise referente ao isomorfismo e adequação pragmática, consideramos o contexto em que as comparações foram constituídas. Conforme demonstrado por Ferry (2016), na análise do isomorfismo, analisamos se os enunciados referentes aos domínios de cada comparação apresentavam formas e/ou estruturas semelhantes, nos quais cada elemento, atributo ou relação do domínio alvo seja percebido (lido e interpretado) da mesma forma que a respectiva entidade colocada em correspondência na enunciação do domínio base, que deve ter correspondência somente com um elemento do domínio alvo. Na adequação pragmática, verificamos o contexto em que a analogia foi constituída para compreender os objetivos de quem a propôs, ou seja, o que o autor pretendia com aquela comparação pois, segundo Ferry (idem), a analogia deve ser

coerente com o propósito pela qual foi construída. Na figura 4 apresentamos uma síntese da sequência dos procedimentos metodológicos que adotamos em nossa pesquisa.

Figura 4 - Síntese dos procedimentos metodológicos adotados na pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

Capítulo 5 – Resultados e Discussão

No presente capítulo apresentamos os dados referentes às comparações que encontramos nos livros didáticos de Química voltados para o Ensino Médio e os resultados da metodologia que fora empregada para a análise estrutural das comparações. Por fim, analisamos como esses autores dos livros didáticos empregaram esse recurso de mediação nos dois grupos de livros didáticos analisados.

5.1 Análise do Manual do Professor

Em nossa análise, procuramos identificar se os autores dos livros didáticos faziam alguma menção a respeito do uso de analogias no ensino de Química, haja visto que, muitos deles utilizaram comparações para tentar elucidar os conceitos químicos. Ressaltamos que tivemos acesso aos manuais dos livros LDN-1, LDN-2, LDN-3, LDN-4, LDN-5 e LDN-6 e que durante o nosso levantamento percebemos que, dentre esses livros, somente os autores do livro LDN-6 demonstraram algum cuidado sobre a orientação do uso das analogias.

Esse fator se torna um pouco preocupante, haja vista que, os autores dos materiais didáticos utilizam tais comparações, porém não orientam os professores sobre qual a melhor forma de as utilizarem, o que consideramos ser de suma importância, pois se os docentes não utilizarem tais recursos didáticos de forma adequada, de modo que os discentes possam compreender tais conceitos, podem acabar tomando a analogia como o conceito científico em si e, conseqüentemente, gerar erros conceituais graves.

Essa preocupação é citada pelos autores do livro LDN-6, na página 301, no tópico “Orientações teórico-metodológicas”, subtópico “Construção e mediação do conhecimento”:

A intenção de um professor, ao utilizar uma analogia, é facilitar a aprendizagem do conceito em foco por meio da comparação com outro conceito ou situação mais conhecida pelos estudantes. Trata-se de um importante recurso capaz de motivar o estudante por relacionar o novo conhecimento com algum conceito ou situação a qual ele já conhece melhor, tornando a tarefa educativa mais agradável.

Entretanto, como o conceito que se pretende ensinar (denominado conceito-alvo) não é exatamente igual ao que se utiliza como referência (denominado conceito-domínio), é comum que os estudantes estabeleçam certa confusão nesse processo, às vezes misturando as duas coisas.

Assim, **muitas analogias não são proveitosas em situações de ensino e aprendizagem porque os estudantes nem sempre percebem as relações existentes entre os conceitos. Isso pode ocorrer porque algo que pareça óbvio para o professor não é necessariamente do conhecimento prévio de seus estudantes.** Como alguém pode compreender um conceito

científico comparado ao funcionamento de um motor se não sabe nem ao menos como funciona esse equipamento? Não se pode esperar que o estudante compreenda claramente o complexo conceito do átomo mediante uma simples comparação com uma bola de bilhar.

Há problemas também quando não se destaca de forma clara quais são as similaridades e as diferenças entre os conceitos comparados, o que pode levar a generalizações indevidas.

Na presente obra, ao utilizarmos analogias, tivemos a preocupação de deixar claro quais características dos dois conceitos são comuns e quais são específicas de cada um, a fim de que o estudante não estabeleça relações equivocadas. Essa também deve ser uma preocupação sua, professor, ao propor uma analogia para seus estudantes. Isso porque, **se não utilizarmos as analogias de forma consciente e clara, podemos criar concepções errôneas sobre os conceitos do ponto de vista científico.**

(LDN-6, p.301, grifo nosso)

Apesar dos autores do livro LDN-6, conforme grifado acima, demonstrarem preocupação em relação ao uso das analogias por parte dos discentes, eles não demonstraram ou fizeram qualquer menção sobre o modo como os professores poderiam utilizar ou construir uma analogia. Consideramos que tal preocupação se faz pouco suficiente para evitar interpretações equivocadas ou uso inapropriado das analogias pelos estudantes, pois não basta apontar o problema sem ao menos citar uma possível solução para tal. Consideramos que devido a inúmeros trabalhos já desenvolvidos ao longo dos anos, os autores talvez acreditem que os professores possam buscar as suas próprias fontes, presumindo, equivocadamente, que qualquer professor saiba como uma analogia deva ser construída.

5.2 Levantamento das comparações dos livros didáticos de Química

Os quadros 6 e 7 demonstrados abaixo apresentam as quantidades de comparações encontradas nos materiais didáticos de Química analisados. As comparações encontradas nos livros foram listadas por tópicos e subtópicos do conteúdo de Cinética Química. Conforme fora mencionado anteriormente no capítulo 4, os livros didáticos de Química propostos para a 2ª série do Ensino Médio, analisados nesta pesquisa, foram codificados como LDN, para os livros didáticos novos, e LDA, para os livros didáticos antigos (quadro 4).

Quadro 6 - Quantidade de comparações por tópico e subtópico de conteúdo associado ao estudo da Cinética Química nos livros didáticos de Química do Ensino Médio, aprovados pelo PNLD 2018-2020.

Tópicos ¹¹ e subtópicos da Cinética Química	Livros didáticos											
	LDN-1		LDN-2		LDN-3		LDN-4		LDN-5		LDN-6	
	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.
1. Introdução ao tema	Sim	0	Sim	0	Sim	1	Sim	0	Sim	0	Sim	0
2. Conceito de velocidades para as reações químicas	Sim	1	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0
3. Expressão da velocidade das reações químicas	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-
4. Teoria das colisões	Sim	1	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0

¹¹ Os tópicos e subtópicos da Cinética Química não se apresentaram necessariamente com os nomes apresentados nos quadros 6 e 7. Nos quadros 6 e 7, optamos por abrangê-los de forma geral, entendendo que isso não comprometeria os dados apresentados e pelo fato dos autores dos livros didáticos nomearem tais tópicos de diversas formas para tratar do mesmo conteúdo.

Quadro 6 - Quantidade de comparações por tópico e subtópico de conteúdo associado ao estudo da Cinética Química nos livros didáticos de Química do Ensino Médio, aprovados pelo PNLD 2018-2020(continuação).

Tópicos e subtópicos da Cinética Química	Livros didáticos											
	LDN-1		LDN-2		LDN-3		LDN-4		LDN-5		LDN-6	
	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.
5. Fatores que influenciam na velocidade das reações – aspectos gerais	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0
a. Temperatura	Sim	1	Sim	0	Não	-	Sim	0	Sim	0	Sim	0
b. Concentração dos reagentes	Sim	0	Sim	0	Não	-	Sim	0	Sim	0	Sim	0
c. Superfície de contato	Sim	0	Sim	0	Não	-	Sim	0	Sim	0	Sim	1
d. Catalisador	Sim	2	Sim	0	Sim	1	Sim	2	Sim	1	Sim	1
e. Luz e eletricidade	Sim	0	Não	-	Não	-	Não	-	Sim	0	Não	-
f. Pressão	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-	Sim	0	Não	-
g. Inibidores	Não	-	Não	-	Não	-	Sim	0	Sim	0	Sim	0
h. Natureza dos reagentes	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-	Sim	0	Não	-
i. Condição dos reagentes	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-
6. Lei da Ação das Massas – aspectos gerais	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-	Sim	0	Não	-

Quadro 6 - Quantidade de comparações por tópico e subtópico de conteúdo associado ao estudo da Cinética Química nos livros didáticos de Química do Ensino Médio, aprovados pelo PNLD 2018-2020(continuação).

Tópicos e subtópicos da Cinética Química	Livros didáticos											
	LDN-1		LDN-2		LDN-3		LDN-4		LDN-5		LDN-6	
	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.
a. Mecanismos das reações	Sim	1	Sim	0	Sim	0	Não	-	Sim	0	Sim	0
b. Ordem de reação	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-
c. Molecularidade de uma reação	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-
7. Complexo ativado	Sim	1	Sim	0	Sim	0	Não	-	Sim	0	Sim	0
8. Energia de ativação	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Sim	0
9. Energia limiar	Não	-	Sim	0	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-
TOTAL	-	7	-	0	-	2	-	2	-	1	-	2

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme apresentado no quadro 6, conseguimos identificar a ocorrência de 14 comparações nos materiais didáticos aprovados no PNLD 2018, sendo que 50% dessas comparações foram encontradas no livro LDN-1, o que indica a preferência dos autores por tais recursos na explicação do conteúdo de Cinética Química, porém apesar dos autores desse livro terem apresentado o maior número de comparações, não conseguimos identificar nenhuma menção de orientações ou sugestões de atividades para o uso de analogias e/ou de metáforas.

Durante a nossa análise, verificamos que os autores dos livros utilizaram comparações para elucidar o conceito de catalisadores, com exceção dos autores do livro LDN-2, demonstrando uma possível preferência da utilização desse recurso mediacional para abordar tal tema. Esse

fator também pode ser constatado na análise dos livros antigos, conforme demonstrado no quadro 7, dos quatro livros nos quais encontramos comparações, em três deles os autores utilizaram esse recurso na apresentação desse conceito.

Quadro 7 - Quantidade de comparações por tópico e subtópico de conteúdo associado ao estudo da Cinética Química nos livros didáticos antigos de Química do Ensino Médio.

Tópicos e subtópicos da Cinética Química	Livros didáticos											
	LDA-1		LDA-2		LDA-3		LDA-4		LDA-5		LDA-6	
	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.
1. Introdução ao tema	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Sim	0
2. Conceito de velocidades para as reações químicas	Sim	1	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Sim	0
3. Expressão da velocidade das reações químicas	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Não	-	Sim	0
4. Teoria das colisões	Sim	1	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Sim	1
5. Fatores que influenciam na velocidade das reações – aspectos gerais	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Sim	0
a. Temperatura	Sim	1	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Sim	0
b. Concentração dos reagentes	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Sim	0

Quadro 7 - Quantidade de comparações por tópico e subtópico de conteúdo associado ao estudo da Cinética Química nos livros didáticos antigos de Química do Ensino Médio (continuação).

Tópicos e subtópicos da Cinética Química	Livros didáticos											
	LDA-1		LDA-2		LDA-3		LDA-4		LDA-5		LDA-6	
	Aborda ?	Nº de comp .	Aborda ?	Nº de comp .	Aborda ?	Nº de comp .	Aborda ?	Nº de comp .	Aborda ?	Nº de comp .	Aborda ?	Nº de comp .
c. Superfície de contato	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Sim	0
d. Catalisador	Sim	2	Sim	1	Sim	1	Não	-	Não	-	Sim	0
e. Luz e eletricidade	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-
f. Pressão	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Sim	0
g. Inibidores	Não	-	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Não	-
h. Natureza dos reagentes	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-
i. Condição dos reagentes	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Não	-
6. Lei da Ação das Massas – aspectos gerais	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Não	-
a. Mecanismos das reações	Sim	1	Sim	2	Sim	1	Não	-	Não	-	Sim	0
b. Ordem de reação	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Sim	1
c. Molecularidade de uma reação	Não	-	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Não	0

Quadro 7 - Quantidade de comparações por tópico e subtópico de conteúdo associado ao estudo da Cinética Química nos livros didáticos antigos de Química do Ensino Médio (continuação).

Tópicos e subtópicos da Cinética Química	Livros didáticos											
	LDA-1		LDA-2		LDA-3		LDA-4		LDA-5		LDA-6	
	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.	Aborda?	Nº de comp.
7. Complexo ativado	Sim	1	Sim	0	Sim	1	Não	-	Não	-	Sim	0
8. Energia de ativação	Sim	0	Sim	0	Sim	0	Não	-	Não	-	Sim	0
9. Energia limiar	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-	Não	-
TOTAL	-	7	-	3	-	3	-	0	-	0		2

Fonte: Elaborado pelo autor

Assim como ocorreu na análise dos livros aprovados no PNLD 2018, um dos livros apresentou a maior concentração de comparações: o livro LDA-1 apresentou 7 das 15 comparações encontradas. Acreditamos que isso seja decorrente do fato de um dos autores ter participado tanto do LDN-1 quanto do LDA-1, indicando assim uma notável preferência pela utilização de comparações na elucidação do conteúdo de Cinética Química. O número de comparações dos livros LDA-1, LDA-2 e LDA-3 se aproxima da frequência de analogias encontradas para o tópico de Cinética Química na pesquisa realizada por Monteiro & Justi (2000). Acreditamos que o fato das autoras terem encontrado 1 comparação a menos do que o nosso levantamento nos livros LDA-1 e LDA-2, seja por que, Monteiro & Justi (idem, p. 73) identificaram somente as comparações que consideravam como analogias, enquanto em nossa pesquisa procuramos identificar todas as comparações sendo elas analogias ou não.

5.3 Identificação das comparações e dos seus domínios

No quadro 8, inspirados em Ferreira & Ferry (2018) e Alvarenga (2017), apresentamos as comparações encontradas nos livros didáticos de Química novos e antigos. Nesse quadro apresentamos as comparações que foram identificadas, o tópico ou subtópico de conteúdo específico, os seus domínios base e alvo, domínio da ilustração, tipo de comparação, o propósito no qual essa comparação foi concebida e em quais livros didáticos as comparações foram empregadas.

Quadro 8 - Comparações identificadas nos livros didáticos de ensino médio de Química sobre o tema Cinética Química.

Tópico e subtópicos	Comparação			Tipo de Comparação	Propósito da comparação	Código	Livros
	Domínio Base	Domínio Alvo	Domínio da ilustração				
Conceito de velocidades para as reações químicas	Consumo de açúcar por formigas em um intervalo de tempo	Consumo de reagentes em uma reação química	DB	Analogia	Elucidar o conceito de velocidade de uma reação química.	C1	LDN-1, LDA-1 ¹²
Teoria das Colisões	Colisões entre bolas de bilhar	Choques entre moléculas em uma reação química	DB	Analogia	Demonstrar como a concentração dos reagentes interfere na velocidade da reação.	C2	LDN-1, LDA-1
	Colisões entre dois carros e entre duas tartarugas		Ambos domínios	Analogia	Ilustrar uma colisão eficaz e uma colisão não-eficaz entre moléculas de reagentes.	C3	LDA-6
Complexo Ativado	Veículo se deslocando de um bairro A até um bairro B	Entalpia do complexo ativado	Ambos domínios	Analogia	Elucidar como a energia de ativação interfere em uma reação química.	C4	LDN-1, LDA-1

¹² No domínio base dessa comparação a autora utilizou abelhas no lugar de formigas, porém estabeleceu a mesma analogia e propósito contextual.

Quadro 8 - Comparações identificadas nos livros didáticos de ensino médio de Química sobre o tema Cinética Química (continuação)

Tópico e subtópicos	Comparação			Tipo de Comparação	Propósito da comparação	Código	Livros
	Domínio Base	Domínio Alvo	Domínio da ilustração				
Complexo Ativado	Uma carroça subindo e descendo uma montanha	Entalpia do complexo ativado	Ambos domínios	Analogia	Elucidar como a energia de ativação interfere em uma reação química.	C5	LDA-3
Temperatura como fator capaz de alterar a velocidade das reações químicas	Rendimento escolar de um grupo de estudantes	Energia cinética das moléculas em temperaturas distintas	Ambos domínios	Analogia	Demonstrar o efeito da temperatura sobre a energia cinética das moléculas.	C6	LDN-1, LDA-1
Mecanismos das Reações	Escalada e salto de uma montanha	Etapas de uma reação química	DB (LDN-1)	Analogia	Exemplificar como a etapa mais lenta interfere na velocidade de uma reação.	C7	LDN-1, LDA-1 ¹³
	Viagem de uma cidade A até uma cidade D		Não houve ilustração em nenhum domínio.	Analogia		C8	LDA-2
Mecanismos das Reações	A corrida entre um coelho e uma tartaruga	Etapas de uma reação química	DB	*	Demonstrar as etapas lenta e rápida em uma reação química.	C9	LDA-2
	Dois técnicos montando uma máquina, sendo um técnico bastante hábil e outro lento		DB	Analogia	Demonstrar como a etapa lenta interfere na velocidade de uma reação química.	C10	LDA-3

¹³ A autora não utilizou ilustração para nenhum dos domínios.

Quadro 8 - Comparações identificadas nos livros didáticos de ensino médio de Química sobre o tema Cinética Química (continuação)

Tópico e subtópicos	Comparação			Tipo de Comparação	Propósito da comparação	Código	Livros
	Domínio Base	Domínio Alvo	Domínio da ilustração				
Catalisador	Um túnel que atravessa a montanha	Adição do catalisador em uma reação química	Ambos domínios	Analogia	Exemplificar como a adição do catalisador influencia na diminuição da energia de ativação de uma reação.	C11	LDN-1, LDA-1
	Dois carros passando por dois caminhos diferentes sendo um mais fácil e outro mais difícil		Ambos domínios	Analogia	Demonstrar como o catalisador aumenta a velocidade da reação química.	C12	LDA-3
Velocidade das reações Químicas	Mecanismo da chave-fechadura	Reação entre o substrato (reagente) com uma enzima	Ambos domínios (LDN-1) DB (LDA-1)	Metáfora Relacional	Demonstrar como as enzimas, que catalisam os processos bioquímicos, aumentam a velocidade de uma reação reduzindo a energia de ativação do processo.	C13	LDN-1, LDA-1
Redução de ozônio na estratosfera	Buraco na camada de ozônio	Depleção da camada de ozônio	DA	Metáfora baseada em atributos	Elucidar a redução do teor de ozônio na estratosfera.	C14	LDN-3, LDN-4
Forma do conversor catalítico	Forma de uma colmeia	Suporte do conversor catalítico	DA	Comparação por mera aparência ou Metáfora baseada em atributos	Descrever a estrutura de um catalisador automotivo (conversor catalítico).	C15	LDN-3, LDN-4, LDN-5, LDN-6.

Quadro 8 - Comparações identificadas nos livros didáticos de ensino médio de Química sobre o tema Cinética Química (continuação)

Tópico e subtópicos	Comparação			Tipo de Comparação	Propósito da comparação	Código	Livros
	Domínio Base	Domínio Alvo	Domínio da ilustração				
Superfície de contato	Superfície de um cubo de 10 cm de aresta	Superfície total de mil cubos de 1 cm de aresta	Ambos domínios	Comparação por contraste ¹⁴	Demonstrar como o aumento da superfície de contato de um reagente pode influenciar no aumento da velocidade de uma reação.	C16	LDN-6
Concentração dos reagentes como fator capaz de afetar a velocidade das reações químicas	Concentração de homens e mulheres durante a dança em uma festa	Concentração de reagentes em uma reação química	DB	Analogia	Demonstrar como o aumento da concentração dos reagentes pode influenciar na velocidade da reação química.	C17	LDA-6

Fonte: Elaborado pelo autor / * Nessa comparação os autores utilizaram somente uma figura sem nenhuma explicação verbal.

O quadro 8 nos apresenta uma série de informações que são relevantes para o nosso trabalho. As comparações inicialmente identificadas nesse quadro, foram classificadas a partir das categorias propostas por Gentner (1983) e analisadas, posteriormente, a partir de uma das categorias que fora apresentada por Curtis & Reigeluth (1984): o formato da apresentação. Ao todo foram identificadas 17 comparações, dentre as quais identificamos 12 comparações potencialmente analógicas. Durante a nossa análise constatamos que os autores dos livros LDN-1 e LDA-1¹⁵ eram os que mais faziam uso desse recurso, demonstrando uma preferência desses autores pelo uso de analogias.

¹⁴ Essa categoria fora apresentada por Ferry através do banner, Analogias e outros tipos de comparações no contexto das teorias atômicas em Livros Didáticos Portugueses de Ciências Físico-Químicas, no XIX ENEQ (Encontro Nacional de Ensino de Química), em julho de 2018.

¹⁵ Vale destacar que um dos autores dos livros LDN-1 é a mesma autora do livro LDA-1 (Vera Novais).

Os livros LDN-2, LDA-4 e LDA-5, não foram apresentados no quadro 8, devido a não abordarem tal tópico de estudo da presente pesquisa ou por não utilizarem comparações na abordagem de Cinética Química.

Nas comparações que foram analisadas e identificadas no quadro 8, observamos que, dentre os tópicos do conteúdo da Cinética Química, as comparações foram empregadas em maior número: (a) na representação do formato do conversor catalítico; (b) na abordagem dos mecanismos das reações; (c) na teoria das colisões; e (d) ao tratar de complexo ativado. Com exceção do aspecto dos conversores catalíticos, acreditamos que esse maior número de comparações para esses subtópicos de conteúdo deve-se ao alto grau de complexidade e abstração envolvido em cada um.

Observamos durante a nossa análise que a comparação C15 fora utilizada em 4 dos 12 livros didáticos analisados, tendo como objetivo descrever o suporte catalítico, podemos observar o uso dessa comparação, na figura 5, apresentada abaixo. Essa comparação, entendida como uma metáfora baseada em atributos, que fora encontrada em maior número em nosso levantamento, provavelmente é de uso comum ao se abordar o aspecto de conversores catalíticos, em decorrência da grande similaridade entre sua estrutura e a de uma colmeia.

Figura 5 - Imagem de um catalisador automotivo.



Os autores dos livros LDN-3, LDN-4, LDN-5 e LDN-6, apesar de terem utilizado a comparação C15, não deixaram claro em seus textos que estavam realizando uma comparação, os autores utilizaram expressões que demonstravam de forma implícita que estavam fazendo uso de tal recurso: “*A solução de engenharia foi construir o **conversor na forma de colmeia***” (LDN-3, p.195), “*sendo muito comum o uso de uma estrutura formada por orifícios hexagonais, **à semelhança de colmeias***” (LDN-4, p.151), “*O conversor é constituído de um suporte **na forma de colmeia***” (LDN-5, p.166), “***Semelhantes a uma colmeia de abelha***” (LDN-6, p.163).(grifo nosso)

Acreditamos que os autores dos livros LDN-3, LDN-4, LDN-5 e LDN-6 tenham utilizado a comparação ilustrada na figura 5 de forma automática em seus livros, pois esses autores de livros didáticos não exploraram tal comparação de forma a ajudar na compreensão dos estudantes. Os mesmos poderiam inserir uma imagem de uma colmeia e trabalhar as suas semelhanças e diferenças com o conversor catalítico na tentativa de facilitar o entendimento dos leitores ou poderiam simplesmente colocar a imagem do conversor sem usar nenhuma comparação e explicitar o conceito científico relacionado.

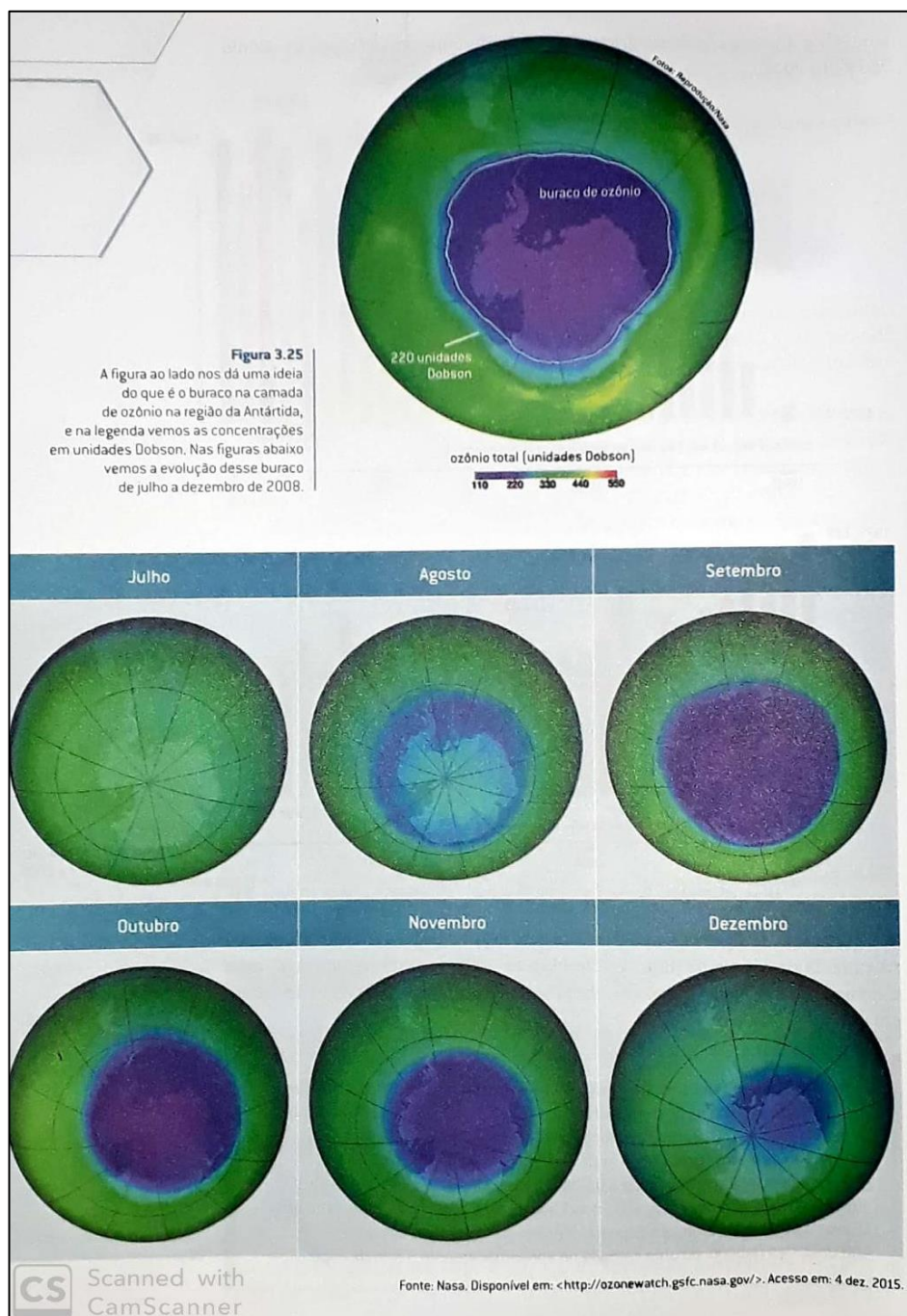
Em nossa análise, constatamos que dentre as 17 comparações identificadas, somente 2 focavam exclusivamente no domínio alvo, indicando que os autores, ao utilizarem tal recurso, veem a necessidade de se ilustrar o domínio base para facilitar a visualização do aluno. Também observamos que os autores dos livros LDN-1 e LDA-1 foram os que mais utilizaram ilustrações para representar os domínios. Isso demonstra que, além dos autores serem os que mais fazem uso das comparações como recurso mediacional, eles também veem a necessidade de apresentar ilustrações dos domínios, a fim de apresentar as analogias com maior clareza.

Através do levantamento realizado no quadro 8, conseguimos elucidar dois questionamentos fundamentais da nossa pesquisa: quais têm sido os domínios base e alvo mais frequentes no estabelecimento de comparações no contexto da Cinética Química? E para quais propósitos os autores de livros didáticos têm empregados essas comparações?

Constatamos que em relação aos domínios que são utilizados mais frequentemente, os autores dos livros didáticos novos optam por focar mais nos atributos de uma comparação do que nas relações. Identificamos que os DB mais frequentes são a forma de uma colmeia e o buraco na camada de ozônio e que os mesmos utilizam o suporte do conversor catalítico e a depleção da camada de ozônio como DA mais frequentes. Dentre os 6 livros aprovados no PNLD 2018, identificamos que 4 deles utilizaram a comparação do conversor catalítico

automotivo com uma colmeia, tendo como objetivo comparar a forma entre as duas estruturas. Essa comparação fora demonstrada anteriormente na Figura 5. Dos 4 livros que utilizaram a comparação C15, 2 deles também fizeram o uso da comparação C14 buraco da camada de ozônio, conforme demonstrado na figura 6.

Figura 6 - Comparação utilizada para explicitar a depleção da camada de ozônio



Fonte: LDN-4 – Autores: Mortimer e Machado. Editora Scipione, 3ª edição, p.140

Dentre os autores dos livros LDN-3 e LDN-4 que utilizaram a expressão metafórica identificada como comparação C14, percebemos que os autores do livro LDN-4, não utilizam o conceito científico da depleção da camada de ozônio no seu texto ou na figura que utilizaram para explicitar o conteúdo. Acreditamos que os autores do livro LDN-4 possam desconhecer qual é o termo científico correto a ser usado no lugar da expressão “buraco na camada de ozônio”, haja vista que, utilizaram a metáfora como sendo o conceito científico a ser explicitado, nomeando um subtópico do livro com a expressão: “O Buraco na Camada de Ozônio” (LDN-4, p.138).

Já os autores do livro LDN-3 utilizam a expressão buraco na camada de ozônio, porém, fizeram uma ressalva quanto ao uso desse termo: “*Depleção significa redução, mas foi com a expressão “buraco na camada de ozônio” que esse efeito acabou ficando mais conhecido*” (LDN-3, p. 171).

Acreditamos que os autores dos livros LDN-3 e LDN-4 possam estar reproduzindo essa comparação por ser uma metáfora congelada. Nagem (1997) define esse tipo de metáfora como sendo um termo que já é utilizado há anos e que não traz nenhuma surpresa ao leitor.

Já em relação aos livros antigos, percebemos que os autores têm como domínio alvo as etapas de uma reação química e como domínio base um veículo que se deslocava de um ponto A para um ponto B¹⁶.

Em nossa análise percebemos que os autores dos livros didáticos antigos se preocuparam em explorar mais o DB das comparações que propunham, do que os autores dos livros didáticos novos, talvez por entenderem que isso ajudaria na compreensão do conteúdo em estudo:

- C4: “A Av. Paulista corresponderia ao complexo ativo que mencionamos ao falar do gráfico de entalpia. A diferença de energia potencial entre o topo, representado pela Av. Paulista, e a região do Parque Ibirapuera equivaleria à Energia de Ativação”. (LDA-1, p.184)
- C6: “Note que na 2ª série as notas, em média, melhoraram, isto é, um menor número de alunos tirou nota baixa e um número maior obteve notas mais altas”. (LDA-1, p.189)

¹⁶ Faz se necessário ressaltar que nos livros antigos, os autores utilizaram diferentes domínios base para se referir ao mesmo domínio alvo, porém o conceito que os mesmos abordaram é o mesmo.

- C7: “Vamos dividir sua missão em duas etapas:
 1. escalar a montanha;
 2. saltar de para-quedas.

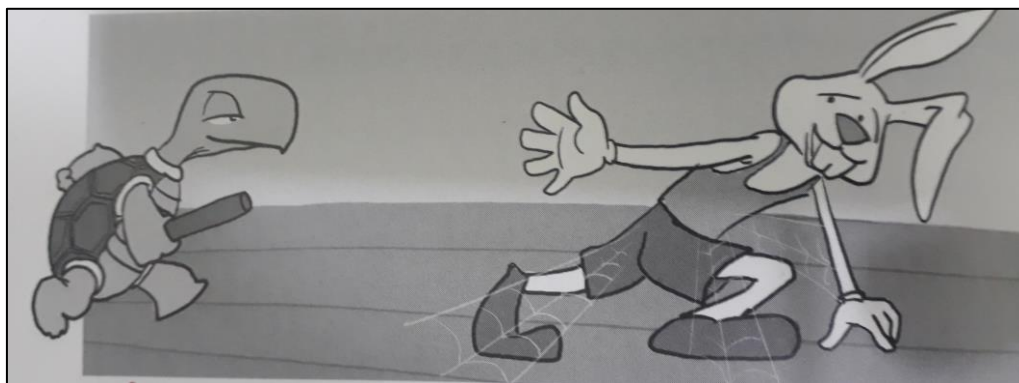
Evidentemente, o tempo em que é realizada cada uma das etapas é bastante diferente. O tempo para que a primeira seja executada é muitíssimo maior que o da segunda, ou seja, a velocidade com que o indivíduo realiza a segunda é tão maior que a velocidade do processo é praticamente determinada pela primeira etapa”. (LDA-1, p.190-191)

- C11: “Com o túnel que corta uma montanha, não precisamos subi-la para depois descê-la, o que de qualquer forma não interfere no ponto de partida e chegada, já que a montanha faz parte somente do percurso”. (LDA-1, p.202)

A percepção dos domínios utilizados também se estende ao propósito no qual os autores têm utilizado suas comparações, haja vista que, os autores dos livros novos com exceção do livro LDN-1, têm se preocupado mais no aspecto estrutural no que nas relações de uma comparação, o que os diferencia dos autores dos livros antigos, que tinham como propósitos principais demonstrar as etapas em uma reação química, como a ação um catalisador e a concentração dos reagentes influenciavam na velocidade das reações químicas.

Dentro do contexto das comparações utilizadas por autores de livros didáticos, consideramos importante ressaltar que nenhuma comparação deva ficar a cargo da interpretação simplesmente do estudante. Para exemplificar uma comparação que possa provocar inúmeras interpretações, citamos a comparação C9, demonstrada na figura 7 e utilizada pelos autores do livro LDA-2.

Figura 7 - Comparação utilizada para explicitar as etapas de uma reação química.



Fonte: LDA-2 – Autores: Hartwig, Souza e Mota. Editora Scipione, 1ª edição, p.168

Consideramos inadequada a forma como essa comparação, apresentada na figura 7, foi empregada pois, apesar dos autores tentarem elucidar o mecanismo de uma reação com o uso de uma imagem, a deixaram “solta” em meio ao conteúdo. Os autores não inseriram nenhum texto ou nota de rodapé, que auxiliasse os estudantes na tentativa de compreensão dos significados que os autores pretendiam compartilhar por meio desse recurso. Acreditamos que os autores tenham deixado a interpretação a cargo dos estudantes, por acreditarem que somente pela ilustração eles poderiam compreender o que estava sendo dito. Consideramos que isso possa provocar inúmeras interpretações e que o objetivo de usar tal ilustração poderia não ser alcançado e consequentemente construir conceitos equivocados.

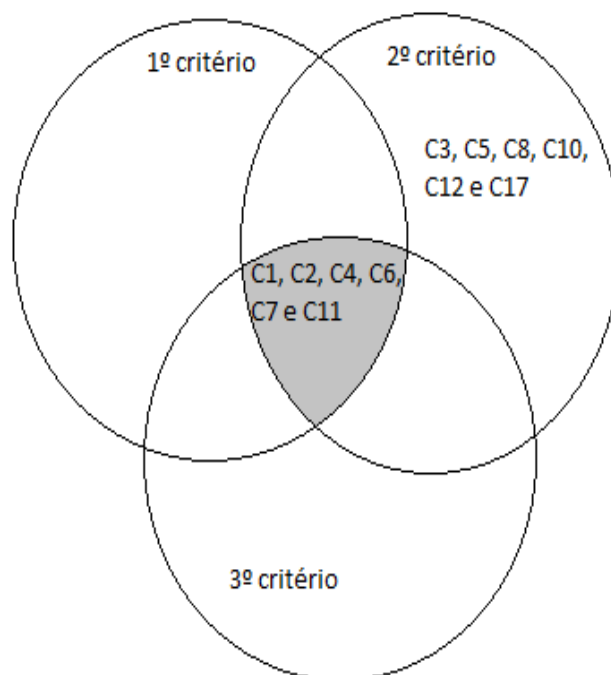
A análise das comparações identificadas no quadro 8 nos permitiu responder a uma de nossas questões: *de que forma autores de livros didáticos de Química empregam comparações como recurso de mediação?*

Percebemos que a maioria dos autores têm empregado as comparações de forma mais automática, ou seja, têm reproduzido metáforas, analogias ou outros tipos de comparações sem uma discussão em seu texto sobre limitações ou uma discussão sobre as relações entre os domínios. Acreditamos que os autores, ou tenham pouco interesse em aprofundar no uso de tal recurso, ou desconheçam a forma como podem explorar esse recurso de mediação. Um fator preocupante é que, mesmo os autores que reconhecem a necessidade de se atentar quanto o uso desse recurso, como relatado pelos autores do livro LDN-6 no manual do professor, eles não procuraram explorar ou discutir as comparações estabelecidas pelos mesmos.

Constatamos também que a maioria dos autores têm reproduzido de forma automática tais comparações, seja ela de forma consciente ou não, como por exemplo o uso das comparações C13 (mecanismo da chave-fechadura), C14 (buraco na camada de ozônio) e C15 (suporte na forma de colmeia). Com exceção dos autores dos livros LDN-1 e LDA-1, não se percebeu no conteúdo de Cinética Química um emprego de comparações que se buscasse relacionar os pontos de ambos domínios. Ressaltamos que não é o fato do autor identificar uma comparação em seu texto que garante que a mesma será bem compreendida pelo leitor; consideramos que os autores de livros didáticos devem tentar explorar as comparações de forma a sanar todas as possíveis dúvidas que os estudantes possam ter.

Na figura 8 selecionamos as comparações potencialmente analógicas que foram apresentadas no quadro 8. Elas foram distribuídas seguindo os critérios apresentados na figura 4 no capítulo 4, que trata de uma síntese dos procedimentos metodológicos adotados:

Figura 8 - Distribuição das comparações potencialmente analógicas definidas nos critérios de seleção.



Fonte: Elaborado pelo autor

As comparações, C9, C13 a C16, não aparecem na figura 8 por não serem, a nosso ver, comparações potencialmente analógicas. Portanto, essas comparações não se adequam aos critérios pré-estabelecidos de seleção que foram apresentados na figura 4 ((1) A comparação deve estar presente em pelo menos duas obras; (2) devem apresentar domínio base comum; (3) devem estar associadas ao mesmo tópico de estudo de pelo menos 2 obras). De acordo com os dados apresentados na figura 8, das dezessete comparações identificadas no quadro 8, somente seis comparações atendem aos critérios apresentados no capítulo anterior: C1, C2, C4, C6, C7 e C11. Essas comparações foram selecionadas para o mapeamento estrutural seção 5.5 e também para a caracterização das comparações que fora apresentada na seção 5.4.

5.4 Caracterização das comparações selecionadas segundo as categorias de Curtis & Reigeluth (1984)

No quadro 9 apresentamos a caracterização das comparações potencialmente analógicas identificadas no quadro 8, neste quadro estão descritos aspectos específicos das comparações de acordo com as categorias Curtis & Reigeluth (1984) adaptadas¹⁷.

Quadro 9 - Análise das comparações potencialmente analógicas segundo as categorias de Curtis & Reigeluth (1984)

Comparação	C1		C2		C3	C4		C5
Livros Didáticos	LDN-1	LDA-1	LDN-1	LDA-1	LDA-6	LDN-1	LDA-1	LDA-3
Formato da apresentação	Ilustrativo-verbal	Ilustrativo-verbal	Ilustrativo-verbal	Ilustrativo-verbal	Ilustrativo-verbal	Ilustrativo-verbal	Ilustrativo-verbal	Ilustrativo-verbal
Orientação pré-tópico	Identifica	Identifica	Identifica	Identifica	Identifica	Identifica	Identifica	Identifica
Posição da comparação	Antes	Antes	Antes	Durante	Depois	Durante	Durante	Durante
Nível de abstração dos domínios	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato
Apresenta e discute as limitações	Apresenta e discute	Não apresenta	Apresenta e discute	Não apresenta	Não apresenta	Apresenta e discute	Não apresenta	Não apresenta

¹⁷ As categorias relação analógica e nível de enriquecimento não foram utilizadas por não dialogarem adequadamente com a TME, essa explicação pode ser vista na seção 2.4 do presente trabalho.

Quadro 9 - Análise das comparações potencialmente analógicas segundo as categorias de Curtis & Reigeluth (1984) (continuação)

Comparação	C6		C7		C8	C11	
Livros Didáticos	LDN-1	LDA-1	LDN-1	LDA-1	LDA-6	Livros Didáticos	LDN-1
Formato da apresentação	Ilustrativo-verbal	Ilustrativo-verbal	Ilustrativo-verbal	Verbal	Verbal	Ilustrativo-verbal	Ilustrativo-verbal
Orientação pré-tópico	Identifica	Identifica	Não identifica	Identifica	Não apresenta e nem identifica	Não identifica	Identifica
Posição da comparação	Durante	Durante	Durante	Durante	Durante	À margem	Durante
Nível de abstração dos domínios	Abstrato-abstrato	Abstrato-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato
Apresenta e discute as limitações	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta

Fonte: Elaborado pelo autor

No quadro 9 optamos por analisar todas as comparações potencialmente analógicas buscando compreender como os autores de livros didáticos novos e antigos abordam tal recurso mediacional. Essa análise nos permite responder a mais uma de nossas questões: *como o emprego de analogias em livros didáticos mais recentes se diferencia da forma de abordagem desse recurso didático em livros antigos?*

A partir da análise das comparações citadas no quadro 9, constatamos que, em relação ao formato da apresentação, em mais de 86,6% dos casos os autores optaram por utilizar ilustrações para, possivelmente, facilitar o processo de compartilhamento de significados por meio das analogias empregadas.

Porém, conforme observado nas ilustrações das comparações apresentadas nos anexos – C1, C2, C4, C6, C7 e C11, os autores dos livros didáticos novos fizeram o uso de imagens e gráficos com mais cores e detalhes do que os autores de livros antigos, permitindo assim uma melhor visualização por parte dos leitores. Em relação aos detalhes podemos citar como exemplo as comparações C4 e C7, aonde percebeu-se que os autores do livro LDN-1 utilizaram imagens com mais detalhes e como mais cores do que a autora do livro LDA-1. Entendemos que, embora esse emprego de imagens com maior número de cores possa decorrer, meramente, do uso de equipamentos de impressão mais sofisticados, essa abordagem mais ilustrativa, provavelmente, apresenta implicações didáticas mais positivas sobre o processo de compartilhamento de significados por meio das analogias.

Na comparação C4 os autores do livro LDN-1 utilizaram uma ilustração colorida com o desenho de árvores, montanha e carro, além de demonstrar o trajeto que o mesmo estava percorrendo, enquanto que a autora do livro LDA-1 representou a ilustração da analogia com uma linha simples demonstrando o trajeto do Bairro A até o Bairro B. Já na ilustração C7, os autores do livro LDN-1 utilizaram a fotografia de um esportista escalando e depois saltando a montanha para representar as etapas de uma reação química, enquanto que no livro LDA-1 utilizou-se somente a forma verbal para representar a comparação, acreditamos que nessa situação a visualização por parte do leitor tende a ser facilitada com uso de ilustrações com mais detalhes, de modo a construir uma ideia mais clara sobre os domínios bases das analogias e, conseqüentemente, perceber as correspondências com os respectivos domínios alvos com mais clareza.

Essa constatação demonstra a preocupação que os autores dos livros didáticos novos têm em representar com mais detalhes as suas comparações do que os autores de materiais antigos. Acreditamos também que isso possa ser possível devido ao desenvolvimento da tecnologia nas últimas décadas, permitindo que os autores de materiais didáticos mais novos tenham mais acesso a esses recursos e consigam então elaborar melhor as suas ilustrações.

As análises dessas comparações também nos permitiram perceber que tanto os autores dos livros didáticos novos quanto os dos antigos chegaram a sinalizar aos leitores a estratégia

do emprego de analogias ao longo dos subtópicos da Cinética Química, porém, não se preocuparam em apresentar ou discutir as limitações das analogias apresentadas, em somente 20% das comparações se apresentaram e discutiram as limitações, sendo que essa discussão foi realizada somente pelos autores do livro LDN-1, o que demonstra que sabem da importância de se discutir uma limitação, porém não a fazem em todas, por talvez acreditarem que não seja necessário. Contudo, consideramos que tal característica é significativamente distinta dos autores dos livros antigos que, em nenhuma das analogias selecionadas para análise, não chegaram a apresentar ou discutir as limitações certamente existentes.

Em relação à posição da comparação, percebemos que os autores utilizaram em 66,7% dos casos a comparação durante a explicitação do conteúdo. Essa característica foi percebida tanto para os autores dos livros novos quanto para os autores dos livros antigos, porém acreditamos que a posição da comparação não influenciará na compreensão da comparação construída, pois a posição não influencia na construção de uma analogia.

Em relação ao nível de abstração dos domínios, os autores utilizaram em 86,6% exemplos concretos para explicitar conceitos científicos ditos como abstratos. Esse frequente uso de domínios base concreta pode estar relacionada tanto à própria natureza desses domínios familiares aos estudantes quanto à aparente crença de que as entidades mais concretas são mais tangíveis e, conseqüentemente, mais compreensíveis do que as abstratas.

Reunindo todas essas considerações, concluímos que o emprego de analogias em livros didáticos mais recentes tem se diferenciado da forma como eram empregadas em livros antigos, principalmente, não somente pelo maior uso de ilustrações mais ricas e coloridas, tomadas como um modo de comunicação não verbal complementar à construção verbal das analogias, mas também por um cuidado maior tanto na sinalização da existência de limitações quanto na discussão das mesmas em alguns casos.

5.5 Análise estrutural das comparações C1, C2, C4, C6, C7 e C11.

Tendo como referencial teórico as concepções de Gentner (1983), Gentner & Markman (1997) e as contribuições metodológicas de Ferry (2016 e 2018, p.110-114), realizamos o mapeamento estrutural das comparações: (i) C1 – entre a velocidade de uma reação química e o consumo de açúcar por formigas; (ii) C2 – entre a teoria da colisão e a colisão das bolas de um jogo de bilhar; (iii) C4 – entre o complexo ativado e um carro se locomovendo entre dois bairros; (iv) C6 – entre a energia cinética e as notas de um grupo de estudantes; (v) C7 – entre

as etapas de uma reação química e a escalada e salto de um esportista de uma montanha; (vi) C11 – entre o papel de catalisadores nas reações químicas e o papel de túneis nos deslocamentos de veículos automotivos. Os mapeamentos estruturais das seis comparações – C1, C2, C4, C6, C7 e C11, foram realizados conforme o padrão apresentado no quadro 4, no capítulo da metodologia e a forma como as comparações foram apresentadas pelos autores dos livros didáticos se encontram nos anexos do presente trabalho.

5.5.1 Comparação C1

Na análise da comparação C1 constatamos que os autores dos livros LDN-1 e LDA-1 veem a necessidade de deixarem claro aos estudantes que estão utilizando uma comparação, evitando assim que eles adotem a comparação como conceito científico:

LDN-1: “Imagine que uma colher de açúcar é colocada próximo de um formigueiro. Quantas formigas serão atraídas na direção da colher de açúcar?” (LDN-1, p.126)

LDA-1:

Para que você possa entender mais claramente o significado de velocidade de reação, **vamos fazer uma comparação**. Imagine uma garrafa de mel que tomba, espalhando seu conteúdo sobre uma superfície. Se, nas proximidades, houver grande número de abelhas, elas serão atraídas pelo mel. Poderemos, então, contar o número de abelhas que chega ao mel em certo intervalo de tempo. (LDA-1, p.177) (grifo nosso)

No quadro 10 apresentamos o mapeamento estrutural da comparação C1 estabelecida entre o consumo de açúcar por formigas e o consumo de reagentes em uma reação química.

Quadro 10 - Mapeamento Estrutural da comparação C1.

Domínio Base	Correspondência	Domínio Alvo
Formigas/açúcar ¹⁸	E ₁ ←→	Reagentes
Consumo de açúcar	E ₂ ←→	Reação química
Velocidade de atração das formigas	A ₁ (E ₂) ←→	Velocidade de consumo/produção de novas substâncias (velocidade da reação química)

¹⁸ A autora do livro LDA-1 utilizou como DB abelhas e uma garrafa de mel, ao invés de formigas e uma colher de açúcar, porém a comparação foi construída de forma semelhante.

Quadro 10 - Mapeamento Estrutural da comparação C1 (continuação).

Não há transformação das formigas ao consumir o açúcar.	$L_1: [r_1(E_2, E_1)]$ ← × →	Há transformação dos reagentes em produtos, em uma reação química.
A velocidade com que as formigas são atraídas ao açúcar diminui com o tempo, a velocidade não é constante.	$r_2(E_1, A_1)$ ← →	A velocidade da reação química diminui com o tempo, a velocidade não é constante.
O consumo de açúcar pelas formigas ocorre em nível macroscópico.	$D_1: [A_1(E_2)]$ ← × →	A reação química ocorre em nível microscópico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise do mapeamento estrutural da comparação C1, apresentada no quadro 10, podemos associar o consumo de açúcar pelas formigas com o consumo de reagentes em uma reação química, porém não podemos afirmar que possuem similaridade semântica, pois não podemos dizer que as formigas são semanticamente similares aos reagentes por exemplo.

No mapeamento verificamos que o foco da comparação estava nas relações e não nos atributos dos elementos dos domínios comparados. A comparação mapeada no quadro 10 também apresenta consistência estrutural ao estabelecer uma correspondência um a um entre os elementos e atributos dos domínios.

Porém em relação ao isomorfismo aplicado na apresentação da analogia C1, não encontramos proposições em nenhum dos textos nos livros analisados (LDN-1 e LDA-1) que nos permitam avaliar as possíveis correspondências decorrentes do isomorfismo. Concordamos com Alvarenga (2017, p. 79) ao citar: “O isomorfismo somente pode ser avaliado a partir do confronto entre frases ou proposições, ou partes das frases, sobre ambos os domínios comparados.”

Em relação a adequação pragmática, consideramos que a comparação foi coerente com o propósito para o qual foi construída, pois conseguimos visualizar o estabelecimento da relação entre o consumo de açúcar pelas formigas e o consumo de reagentes em uma reação química, com a velocidade com que as formigas são atraídas ao açúcar e a velocidade da reação química.

Porém a comparação C1 não apresentou sistematicidade, ou seja, teve o predomínio de sistemas de relações conectadas por relações de ordem superior, isto é, relações entre relações. A comparação mapeada apresentou somente uma relação de primeira ordem ($r_2(E_1, A_1)$). Apesar da comparação C1 mapeada no quadro 10 não ser sistemática, acreditamos que isso não comprometa o seu caráter analógico. Ferry (2016, p.104) considera casos semelhantes a este como analogias mais simples ou menos sofisticada.

Ainda sobre a comparação C1, os autores do livro LDN-1 indicaram que nessa analogia há limitações, codificada em nosso mapeamento estrutural como $L_1: [r_1(E_2, E_1)]$. Segue o trecho no qual essa limitação da analogia foi apresentada:

Repare que, no exemplo das formigas, a velocidade com que elas são atraídas ao açúcar não é constante, tendo diminuído com o tempo: a cada minuto transcorrido, o número de formigas atraídas diminui. Isso também acontece com as moléculas de um reagente, como vamos analisar adiante. **Em todo caso, a comparação para por aí;** por exemplo, no caso do sistema que analisaremos, os reagentes e produtos são gasosos e, como você sabe, as moléculas de uma substância no estado gasoso movimentam-se com grande velocidade e têm energia muito alta, o que as distancia do exemplo das formigas. **Além disso, lembre-se de que as formigas continuam sendo formigas e o açúcar continua sendo açúcar, enquanto numa reação química isso não ocorre.** (LDN-1, p.126) (grifo nosso)

Ao contrário dos autores do livro LDN-1, os autores do livro LDA-1 não deixam claro aos estudantes essa limitação da comparação, o que pode levar a transposição de uma ideia equivocada para o conceito científico em questão. Apesar dos autores do livro LDN-1 procurarem citar as limitações, os mesmos não deixaram claro em seu texto a diferença alinhável codificada como $D_1: [A_1(E_2)]$, o que, a nosso ver, pode fazer com que os estudantes acreditem que a reação possa vir a ocorrer em nível macroscópico, haja vista que, eles conseguem visualizar uma formiga carregando açúcar.

Ao mapearmos a comparação C1, percebemos a necessidade dos autores de livros didáticos explorarem melhor as limitações e diferenças alinháveis ao longo do seu texto.

5.5.2 Comparação C2

Assim como na comparação C1, os autores do livro LDN-1 e LDA-1 demonstraram, explicitamente que estavam utilizando um recurso educacional para explicitar o conceito científico que estava sendo trabalhado na comparação C2:

*“Vamos considerar o fator concentração e **usar uma analogia** para analisá-lo. ”*
(LDN-1, p.130) (grifo nosso)

*“Vamos fazer **uma comparação** para que você possa visualizar o que foi dito. ”* (LDA-1, p.182) (grifo nosso)

Acreditamos que essa estratégia usada nas comparações C1 e C2, seja uma forma de evitar que o domínio base seja tomado como sendo o próprio conceito científico, além de preparar os estudantes para o reconhecimento das correspondências de similaridade entre os domínios comparados.

O quadro 11 traz o mapeamento da comparação C2 estabelecida entre o jogo de bilhar e o choque de moléculas em uma reação química. Essa comparação tinha como objetivo explicitar como a concentração dos reagentes pode influenciar na velocidade de uma reação química.

Quadro 11 - Mapeamento Estrutural da comparação C2

Domínio Base	Correspondência	Domínio Alvo
Bolas de bilhar	E_1 ↔	Moléculas
Jogo de bilhar	E_2 ↔	Reação Química
Movimento das bolas de bilhar	E_3 ↔	Movimento das moléculas
Quantidade das bolas de bilhar	E_4 ↔	Concentração dos reagentes
As bolas de bilhar podem se mover em várias direções (dependendo da tacada (*)).	$A_1(E_3)$ ↔	As moléculas se movimentam em diferentes direções e sentidos.
Energia das bolas de bilhar.	$A_2(E_1)$ ↔	Energia das moléculas.
Imutabilidade das bolas de bilhar (*).	$L_1:[A_3(E_1)]$ ↔ ×	Mutabilidade das moléculas.
Devido ao movimento das bolas de bilhar, elas podem colidir umas com as outras.	$r_1(E_3, E_1)$ ↔	Devido ao movimento das moléculas, elas podem colidir umas com as outras.
Quando há um aumento na quantidade das bolas de bilhar, há maior a frequência de choques entre as bolas.	$r_2(E_4, E_1)$ ↔	Quando se aumenta a concentração dos reagentes, há maior frequência de choques entre as moléculas.
A direção do movimento das bolas de bilhar gera colisões com diferentes geometrias (*).	$R_1(A_1, r_1)$ ↔	A direção dos movimentos das moléculas em uma reação química gera colisões com diferentes geometrias.

Quadro 11 - Mapeamento Estrutural da comparação C2 (continuação)

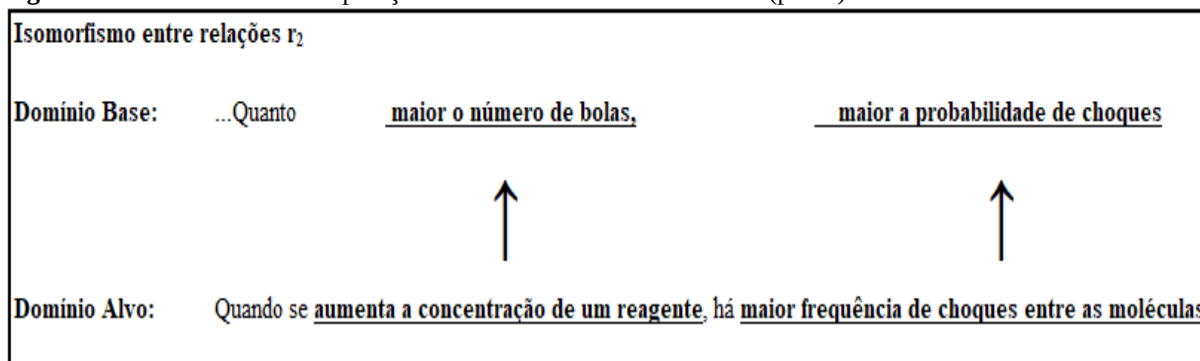
Há direções no movimento das bolas de bilhar que favorecem a geometria do choque e geram colisões eficazes (bola na caçapa) (*).	$R_2(A_1, r_1)$	Há direções no movimento das moléculas que favorecem a geometria do choque e geram colisões eficazes (reações químicas).
Ao longo do jogo de bilhar, a quantidade de colisões não eficazes é maior que a quantidade de colisões eficazes (*).	$R_3(E_2, R_1, R_2)$	Ao longo da reação química, a quantidade de colisões não eficazes é maior que a quantidade de colisões eficazes.
Um grande número de colisões com geometria desfavorável gera um grande número de colisões não eficazes (colisões que não conduzem as bolas para a caçapa).	$R_4(R_2, R_3)$	Um grande número de colisões com geometria desfavorável gera um grande número de colisões não eficazes (que não provocam reações químicas).
Uma bola de bilhar alcança uma caçapa após ter sido atingida por outra em uma geometria favorável (*).	$R_5(R_2, R_1)$	Uma molécula reage com outra após ter sido atingida em uma geometria favorável.
Além da colisão ocorrer em uma geometria favorável é preciso que essa colisão tenha ocorrido com energia suficiente para que a bola de bilhar seja encaçapada (*).	$R_6(A_2, R_2)$	Além da colisão ocorrer em uma geometria favorável é preciso que essa colisão tenha ocorrido com energia suficiente para provocar a reação química.
Uma colisão entre bolas de bilhar será eficaz se ocorrer em uma geometria favorável e houver energia suficiente para uma bola ser encaçapada (*).	$R_7(A_2, R_2)$	Uma colisão entre moléculas será eficaz se ocorrer em uma geometria favorável e houver energia suficiente para provocar a reação química.
Não há uma transformação entre duas bolas de bilhar quanto ocorre uma colisão eficaz (*).	$L_2:[R_8(A_3, R_7)]$	Em uma colisão eficaz entre duas moléculas há uma transformação em novas moléculas.
Quando há um choque entre as bolas de bilhar ocorre uma alteração substancial da quantidade de energia mecânica.	$D_1:[r_1(E_3, E_1)]$	Quando há um choque entre as moléculas não há uma alteração da energia cinética.

Fonte: Elaborado pelo autor inspirada em Ferry (2016, p.101-102) / * Essas relações foram inferidas durante a leitura do texto, essas relações não foram citadas pelos autores nos livros didáticos.

O mapeamento estrutural da comparação C2 entre o jogo de bilhar e o choque de moléculas em uma reação química, apresentado no quadro 11, revela a possibilidade de se estabelecer correspondências de similaridade entre quatro elementos, dois atributos, duas relações de primeira ordem (r_1 e r_2) e sete relações de ordem superior (R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , R_6 e R_7). O foco da comparação apresentada no quadro 11 não está restrito a elementos ou atributos dos elementos pertencentes aos domínios e sim nas relações similares presentes nos domínios base e alvo. Desse modo, podemos afirmar que o seu foco é relacional. Também podemos afirmar que a comparação apresentada é sistemática, de acordo com o nosso referencial teórico – a TME, haja vista que, a comparação apresentou a combinação de relações conectadas por relações de ordem superior, isto é, relações entre relações.

Através do mapeamento estrutural, podemos perceber que a comparação é estruturalmente consistente, uma vez que há correspondência um a um entre os quatro elementos e dois atributos dos domínios base e alvos. Porém, em relação ao isomorfismo, não encontramos proposições correspondentes no livro LDA-1, mas foi encontrado no livro LDN-1:

Figura 9 - Isomorfismo da comparação C2 encontrada no livro LDN-1 (p.130)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Devemos ressaltar que apesar de se encontrar no texto do Livro LDN-1, os autores dificultaram o confronto entre as frases pois o DB está no início da página enquanto o DA se encontra no final da página, o que, ao nosso ver, pode dificultar o estabelecimento da correspondência por parte dos estudantes.

A partir do mapeamento estrutural da comparação C2, visualizamos que a mesma apresenta foco relacional, é estruturalmente consistente, é constituída por correspondências entre entidades com alta similaridade semântica e, ao contrário da comparação apresentada anteriormente, é altamente sistemática, o que nos permite afirmar que essa comparação é uma boa analogia.

Quanto à adequação pragmática, podemos dizer que não encontramos dificuldade em estabelecer correspondência entre o jogo de bilhar e os choques de moléculas em uma reação química, na qual, acreditamos que não haja dificuldade por parte dos estudantes compreenderem a comparação estabelecida, pois em ambos os livros a comparação foi ilustrada mostrando como é uma mesa de bilhar e como as bolas estariam distribuídas sobre a mesa.

A análise dessa analogia nos livros nos permitiu constatar que somente os autores do livro LDN-1 indicaram a existência de algumas limitações e que elas não devem ser transpostas para o conceito científico que está sendo explicitado:

Alguns esclarecimentos: cabe observar que, como ocorre com qualquer analogia científica, a analogia entre a colisão das bolas de bilhar e o choque de moléculas apresenta muitas limitações. Basta lembrar que o choque entre as bolas implica alteração substancial da quantidade de energia mecânica, o que não acontece no nível molecular: os choques entre moléculas não implicam perda de energia cinética e, por isso, diz-se que são perfeitamente elásticos. No caso das bolas de bilhar, o choque não fará com que elas se deformem ou se rompam, o que é bem diferente no caso de colisões moleculares... (LDN-1, p.130) (grifo do autor)

Durante a análise percebemos que somente a limitação $L_1:[A_3(E_1)]$ e a diferença alinhável $D_1:[r_1(E_3, E_1)]$ foram apresentadas pelos autores do livro LDN-1, enquanto a limitação $L_2:[^4R_8(A_3, 3R_7)]$ não fora citada. Apesar dos autores do livro LDN-1 reconhecerem as limitações, consideramos importante que tanto as limitações quanto as diferenças alinháveis indicadas em nosso mapeamento sejam adequadamente apresentadas e discutidas pelos autores de livros didáticos, evitando assim interpretações equivocadas das comparações por parte dos estudantes.

Em nossa análise percebemos que ambos os autores, livros LDN-1 e LDA-1, exploram as relações de primeira ordem, porém não procuram explorar as relações de ordem superior em seus textos, o que nos preocupa, haja vista que isso demonstra que, apesar de construir a analogia, os autores não procuram aprofundar na mesma para que possa se estabelecer uma comparação mais elaborada de modo a auxiliar o processo de construção de significados pelos estudantes a partir da analogia.

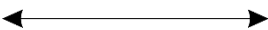
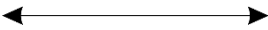
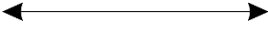
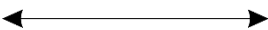
5.5.3 Comparação C4

Nas comparações estabelecidas pelos autores dos livros LDN-1 e LDA-1 assim como foi identificado nas comparações anteriores (C1 e C2), percebemos que eles têm se preocupado ao menos em anunciar que estão fazendo uma comparação na tentativa de facilitar a compreensão do conceito científico aos estudantes-leitores:

1. “Imagine que uma pessoa esteja em um bairro A de certa cidade e queira se dirigir ao bairro B, do qual dista poucos quilômetros e que está a uma altitude pouco menor que a dele. **Nessa analogia**, a região superior do morro ... ” (LDN-1, p.132) (grifo nosso)
2. “**Imagine que** você esteja em um local A de uma cidade e queira se dirigir a um outro a poucos quilômetros de distância, de altitude aproximadamente igual (local B). ” (LDA-1, p.184) (grifo nosso)

O quadro 12 traz o mapeamento da comparação C4 estabelecida entre uma pessoa que está se locomovendo em um carro entre dois bairros separados por um morro, e as variações de entalpia durante uma reação química.

Quadro 12 - Mapeamento Estrutural da comparação C4

Domínio Base	Correspondência	Domínio Alvo
Morro	E_1 	Energia de ativação
Pessoa/Carro	E_2 	Reagentes
Altura do morro	$A_1(E_1)$ 	Valor da energia de ativação
Percurso do carro	$A_2(E_2)$ 	Reação química (percurso dos reagentes)
Tempo que o carro levaria para alcançar o topo do morro (*).	$A_3(E_2)$ 	Tempo que os reagentes levariam para alcançar o complexo ativado.
Velocidade do percurso	$r_1(A_1, A_3)$ 	Velocidade da reação química
Quanto menor a altura do morro entre os bairros, mais fácil é o percurso.	$r_2(A_1, A_2)$ 	Quanto menor for a energia de ativação, mais facilmente ocorrerá a reação química.
Quanto maior for a altura do morro, mais difícil será o percurso.	$r_3(A_1, A_2)$ 	Quanto maior for a energia de ativação, a reação química dificilmente ocorrerá.

Quadro 12 - Mapeamento Estrutural da comparação C4 (continuação)

Quanto maior for a altura do morro, mais difícil será o percurso, portanto o tempo será maior para alcançar o seu topo (*).	$R_1(A_3, r_2)$ ←→	Quanto maior a energia de ativação, mais difícil será a ocorrência da reação química, portanto o tempo será maior para alcançar esse valor.
Quanto maior for o tempo gasto pelas pessoas/carros alcançarem o topo do morro, mais lento será o percurso (velocidade do percurso) (*).	$R_2(A_3, r_1)$ ←→	Quanto maior for o tempo gasto para os reagentes alcançarem o valor da energia de ativação, mais lenta ocorrerá a reação química (velocidade da reação química).
O percurso do carro ocorre em nível macroscópico.	$D_1:[A_2(E_2)]$ ←×→	O percurso dos reagentes (reação química) ocorre em nível microscópico.
O trajeto é percorrido somente por um objeto (o carro).	$D_2:[r_2(A_1, A_2)]$ ←×→	Para que a reação ocorra é necessário que ao menos duas moléculas se choquem de forma eficaz para que se atinja o valor da energia de ativação.
Após percorrido o trajeto, o carro continua sendo um automóvel(*).	$D_3:[R_2(A_3, r_1)]$ ←×→	Após atingir o valor da energia de ativação os reagentes são transformados em produtos.

Fonte: Elaborado pelo autor inspirada por Ferry (2016, p.105) / *Essas relações foram inferidas durante a leitura do texto, essas relações não foram citadas pelos autores nos livros didáticos.

De acordo com o mapeamento estrutural da comparação C4, podemos afirmar que a comparação utilizada é estruturalmente consistente, uma vez que apresenta conectividade em paralelo entre os argumentos das relações mapeadas, além da correspondência um a um entre os dois elementos, três atributos e cinco relações, sendo três relações de primeira ordem (r_1 , r_2 e r_3) e duas relações de ordem superior (R_1 e R_2).

Em relação à similaridade semântica, podemos afirmar que há uma correspondência entre os atributos $A_1(E_1)$ e $A_2(E_2)$, na qual podemos associar à altura do morro com a energia de ativação e, o percurso (trajeto) do carro com o percurso dos reagentes (reação química). Também verificamos que há correspondência entre a velocidade do percurso e a velocidade da reação química ($r_1(A_1, A_3)$), porém em relação ao E_2 não há correspondência (similaridade semântica) entre as pessoas/carros e os reagentes, o que não compromete o potencial analógico

da comparação estabelecida.

A comparação apresentada no quadro 12 possui o foco nas relações e não nos atributos, além de possuir relações de ordem superior, portanto, a comparação C4 possui sistematicidade. Já em relação a adequação pragmática, consideramos que a comparação foi coerente com o propósito para o qual foi construída, pois conseguimos visualizar o estabelecimento da relação entre a velocidade do percurso do carro com o percurso dos reagentes (reação química). Além disso, na tentativa de facilitar essa visualização, os autores de ambos os livros ilustraram ambos os domínios. A forma como a comparação é apresentada pelos autores pode ser vista nos anexos E e F.

Já em relação ao isomorfismo, não encontramos proposições em nenhum dos livros que foram analisados, porém os autores de ambos procuraram estabelecer relações entre os elementos e atributos da analogia, que foi melhor explorada pelos autores do livro LDN-1:

Nessa analogia, a região superior do morro (veja a ilustração¹⁹) corresponderia ao complexo ativado; isto é, se não houvesse a necessidade de atingir o topo do morro (região com maior energia potencial que a dos bairros **A** e **B**), para ir de **A** até **B** bastaria descer, isto é, deslocar-se de uma região de maior energia potencial para outra de menor energia. ” (LDN-1, p.132) (grifo do autor)

Acreditamos que, embora essa analogia não esteja isomorficamente bem construída pelos autores, ela possa ser compreendida pelos estudantes. Contudo, ressaltamos que a apresentação da analogia com enunciados isomórficos poderia facilitar a compreensão dos estudantes.

Por meio da leitura dessa analogia nos livros, verificamos que os autores do LDN-1 estabeleceram as diferenças alinháveis $D_1: [A_2(E_2)]$ e $D_2: [r_2(A_1, A_2)]$ em seu texto:

Vale lembrar que a analogia se valeu de objetos do mundo macroscópico, que são, em todos os sentidos, bem diferentes dos elementos do “universo” das moléculas. **Além disso, aqui consideramos apenas um objeto, o automóvel, e, no caso das moléculas, ao menos duas delas terão de se chocar para que se atinja a energia do complexo ativado.** Com o exemplo, pretende-se apenas que você reflita sobre o que há em comum entre o percurso do automóvel e a energia de reagentes ao se transformarem em produtos. (LDN-1, p.132) (grifo nosso)

Porém, assim como aconteceu nas comparações C1 e C2 no livro LDA-1 não há citação ou menção por parte dos autores em seu texto de nenhuma limitação ou diferença alinhável. Os autores desse livro demonstram que estão estabelecendo uma comparação, mas não deixam

¹⁹ A ilustração na qual os autores citam pode ser vista no anexo E da presente dissertação.

evidente para os estudantes-leitores quais limitações tal comparação possui.

Embora a comparação C4, conforme o mapeamento estrutural do quadro 12, tenha duas correspondências entre relações de ordem superior, percebemos que os autores dos livros LDA-1 e LND-1 praticamente não exploraram esse tipo de correspondência, deixando inteiramente a cargo do professor que, por ventura, usar essa analogia em sala de aula. Consideramos que essa analogia teria sido melhor construída pelos autores dos livros analisados se essas relações de ordem superior tivessem sido devidamente exploradas.

5.5.4 Comparação C6

Na comparação C6 mapeada no quadro 13, os autores dos livros LDN-1 e LDA-1, assim como fizeram nas outras comparações mapeadas pelo presente trabalho (C1, C2 e C4), deixaram evidente em seus textos a intenção do estabelecimento de uma comparação como forma de compartilhar significados com os estudantes:

1. “Para que você possa compreender o significado deste gráfico, nas atividades a seguir, **vamos fazer uma analogia** com uma situação que você conhece bem: as notas obtidas pelos alunos de uma escola. ” (LDN-1, p.136) (grifo nosso)
2. “Para que você possa compreender o significado deste gráfico, **vamos fazer uma comparação**. Suponhamos a curva de distribuição das notas de Química de alunos da 1ª série do 2º grau ... ” (LDA-1, p.188) (grifo nosso)

O quadro 13 traz o mapeamento da comparação estabelecida entre o rendimento escolar de um grupo de estudantes com a distribuição da energia cinética de moléculas.

Quadro 13 - Mapeamento Estrutural da comparação C6

Domínio Base	Correspondência	Domínio Alvo
Alunos	E ₁ ←→	Moléculas
Nota	E ₂ ←→	Energia cinética (Ec)
Rendimento nos primeiros bimestres	E ₃ ←→	Sistema reacional

Quadro 13 - Mapeamento Estrutural da comparação C6 (continuação)

Notas obtidas no 1º ano	E_4	Primeira condição de temperatura para ocorrência da reação química
Notas obtidas no 2º ano	E_5	Aumento da temperatura do sistema
Nota baixa/alta	$A_1(E_2)$	Energia cinética baixa/alta
Há uma nota mínima para aprovação dos alunos (*).	$A_2(E_3)$	Ec mínima para ocorrência da reação química (energia de ativação).
Notas dos alunos nos primeiros bimestres.	$r_1(E_2, E_1, E_3)$	Energia cinética (movimento) das moléculas em um sistema reacional.
Nem todos os alunos têm a mesma nota nos primeiros bimestres.	$r_2(E_1, E_2, E_3)$	Nem todas as moléculas têm a mesma energia cinética em um sistema reacional.
Há uma conservação do valor da nota mínima que é usada como critério de aprovação para com os alunos (*).	$r_3(E_5, A_2)$	Há uma conservação do valor da energia de ativação para a ocorrência da reação química.
Há alunos com um bom desempenho (notas altas) e alunos com um desempenho ruim (notas baixas).	$R_1(A_1, r_2)$	Há moléculas que se movimentam mais rapidamente e moléculas que se movimentam lentamente.
Entre as notas obtidas pelos alunos há uma média.	$R_2(r_1, r_2)$	Entre os valores de energia cinética das moléculas há uma média.
Somente os alunos que obtêm notas iguais ou maiores que a média para aprovação são aprovados (*).	$R_3(A_2, R_1)$	Somente moléculas que tenham energia cinética igual ou maior que a energia de ativação podem reagir.
Nota média dos alunos no 1º ano (*).	$R_4(A_2, R_2)$	Ec média das moléculas na primeira condição de temperatura (temperatura mais baixa).
A nota média dos alunos, no primeiro ano, foi inferior à nota mínima para aprovação.	$R_5(A_2, R_4)$	A Energia cinética (Ec) média das moléculas, na primeira condição de temperatura, é inferior à energia de ativação da reação química.

Quadro 13 - Mapeamento Estrutural da comparação C6 (continuação)

No primeiro ano houve uma quantidade pequena de alunos com nota igual ou superior à nota mínima para aprovação.	$R_6(E_4, A_2, R_1)$ ←→	Na primeira condição de temperatura houve uma quantidade pequena de moléculas com Energia cinética igual ou superior à Energia de ativação.
No segundo ano, há uma redução da quantidade de alunos com notas inferiores à nota mínima para aprovação.	$R_7(E_5, A_2, R_1, R_2)$ ←→	Na temperatura mais elevada, há uma redução na quantidade de moléculas com energia inferior à energia de ativação.
No segundo ano, há um aumento da nota média dos alunos.	$R_8(E_5, R_2)$ ←→	Na temperatura mais elevada, há um aumento da E_c média das moléculas.
Há um aumento no número de alunos com nota igual ou superior à nota mínima para aprovação.	$R_9(R_8, R_7, r_3)$ ←→	Há um aumento na quantidade de moléculas com energia cinética igual ou superior à energia de ativação.

Fonte: Elaborado pelo autor inspirado em Ferry (2016, p.111)²⁰ /* Essas relações foram inferidas durante a leitura do texto, essas relações não foram citadas pelos autores nos livros didáticos.

A partir do mapeamento estrutural da comparação C6, apresentado no quadro 13, constatamos correspondências entre os elementos, atributos e relações de primeira ordem e ordem superior. Percebemos que o foco da comparação estabelecida por ambos os autores (LDN-1 e LDA-1) não é dado sobre os atributos e sim nas relações entre as notas dos alunos com a energia cinética.

Quanto ao isomorfismo, assim como ocorreu nas comparações C1 e C4, apesar de identificarmos no texto a correspondência entre relações, os enunciados referentes a essas relações não foram construídos com frases que permitissem confrontar as proposições, o que pode vir a constituir uma “barreira” na tentativa, por parte dos estudantes, de estabelecer ou reconhecer as correspondências que compõem a estrutura relacional comum da analogia.

Através do mapeamento também percebemos que há correspondências entre elementos, atributos e relações e que a comparação foi construída de forma coerente com o propósito pela qual foi constituída, comparando o DB (notas/alunos) com o DA (energia cinética/moléculas). O mapeamento também demonstrou que há consistência estrutural na comparação, pois no texto

²⁰ O quadro 13 foi construído por Ferry (2016, p. 111), nos apropriamos desse mapeamento com algumas modificações para servir de referência a nossa análise, haja vista que, a comparação utilizada nos livros LDN-1 e LDA-1 fora a mesma que foi analisada por Ferry (idem).

apresentado pelos autores é possível de estabelecer correspondência entre as notas dos alunos e a energia.

Em relação a sistematicidade, percebemos que ao contrário do que foi percebido durante a análise nas comparações anteriores (C1, C2 e C4), essa foi trabalhada melhor pela autora do livro LDA-1, pois em seu texto trabalharam melhor as relações de ordem superior do que os autores do livro LDN-1. Os autores do livro LDN-1 deixaram a cargo dos estudos construir a compreensão da analogia, através de uma atividade proposta conforme apresentada no anexo G.

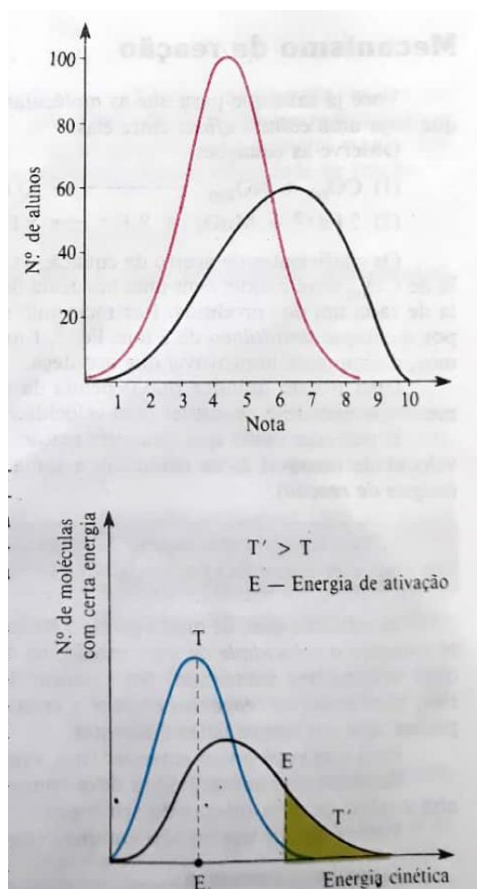
Nos textos os autores de ambos os livros apresentaram uma tabela²¹, na qual, é possível se perceber as relações de ordem superior $R_5(A_2, R_4)$, $R_6(E_4, A_2, R_1)$ e $R_8(E_5, R_2)$, porém os estudantes que utilizarem o livro LDN-1 teriam que inferir tal analogia, buscando compreender por si próprios ou com auxílio de um professor a comparação estabelecida, ao contrário dos estudantes que utilizarem o livro LDA-1, pois os autores deste livro deixaram essas relações explícitas através de uma contextualização e gráficos demonstrados pelos autores na figura 10 e nos trechos retirados do texto:

“Note que na 2ª série as notas, em média, melhoraram, isto é, um menor número de alunos tirou nota baixa e um número maior obteve notas mais altas. Vamos agora colocar esses valores em curvas de distribuição das notas: número de alunos x notas”. (LDA-1, p.189)

“Como você pode notar, quanto maior a temperatura ($T' > T$), maior o número de moléculas com energia cinética superior à energia de ativação”. (LDA-1, p.189)

²¹ As tabelas utilizadas pelos autores dos livros didáticos podem ser vistas nos anexos G e H.

Figura 10 - Gráficos utilizado para elucidar a comparação C6



Fonte: LDA-1 Editora Atual, p. 189

A autora do livro LDA-1 também procuraram explorar a relação $R_9(R_8, R_7, r_3)$:

Suponhamos que nesta escolha a nota necessária para aprovação seja 6. Evidentemente, no caso da curva em preto (melhor rendimento), o número de alunos aprovados será maior. Confira essa conclusão no gráfico. Mas voltemos às curvas de distribuição de energia cinética das moléculas. Quando se aumenta a temperatura, há mais moléculas com energia cinética maior. Com isso, a curva de distribuição se desloca para a direita. (LDA-1, p.189)

Em nossa análise esperávamos que as analogias dos livros novos fossem mais exploradas do que a dos livros antigos, tendo em vista as recomendações da literatura do campo das analogias na Educação em Ciências fornecidas ao longo dos anos, mas essa comparação fora melhor trabalhada pelos autores dos livros antigos.

5.5.5 Comparação C7

Na comparação C7, mapeada no quadro 14, os autores dos livros LDN-1 e LDA-1, explicitamente, anunciaram o estabelecimento dessa comparação em seus textos para explicar a cinética de uma reação química que ocorre em mais de uma etapa:

1. *“Suponha a seguinte situação: um esportista tem o desafio de realizar um*

conjunto de duas atividades em um tempo inferior ao obtido por outro esportista, que as realizou um mês antes. Em primeiro lugar, ele deve escalar uma montanha; depois, deve saltar do topo dessa montanha...” (LDN-1, p.142) (grifo nosso)

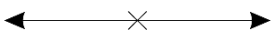
2. *“Para que você possa entender isso, **vamos fazer uma comparação**. Suponha que um indivíduo deva cumprir a seguinte tarefa...”* (LDA-1, p.190) (grifo nosso)

O quadro 14 traz o mapeamento da comparação estabelecida entre as etapas da reação química com a escalada e o salto de um esportista de uma montanha.

Quadro 14 - Mapeamento Estrutural da comparação C7

Domínio Base	Correspondência	Domínio Alvo
Escalada na montanha	E_1 ↔	Etapa lenta da reação
Salto do topo da montanha	E_2 ↔	Etapa rápida da reação
Esportista	E_3 ↔	Reagentes
Tempo gasto para escalar a montanha	$A_1(E_1)$ ↔	Tempo gasto na etapa lenta da reação
Tempo gasto no salto da montanha	$A_2(E_2)$ ↔	Tempo gasto na etapa rápida da reação
Velocidade do esportista escalando a montanha.	$A_3(E_1)$ ↔	Velocidade da reação química na etapa mais lenta
Velocidade do salto do esportista	$A_4(E_2)$ ↔	Velocidade da reação na segunda etapa (etapa mais rápida)
A velocidade com que o esportista realiza a tarefa é determinada pela etapa mais lenta (a escalada da montanha).	$r_1(A_3, A_4)$ ↔	"A velocidade de uma reação é determinada por sua etapa mais lenta."

Quadro 14 - Mapeamento Estrutural da comparação C7 (continuação)

Não há atributo correspondente	$L_1:[R_1(E_3, r_1)]$ 	"O aumento da concentração de um dado reagente aumenta a velocidade da reação" ²²
--------------------------------	---	--

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do mapeamento estrutural da comparação C7, apresentado no quadro 14, constatamos correspondências entre três elementos, quatro atributos e uma relação de primeira ordem nos textos apresentados pelos autores dos livros LDN-1 e LDA-1.

Tais correspondências nos permitem afirmar que, embora essa comparação apresente consistência estrutural e foco relacional, ela é pouco sistemática, pois seus elementos e atributos em correspondência correlacionam-se entre si por meio de uma única relação de primeira ordem, não havendo outras relações e, principalmente, relações entre relações. Contudo, consideramos que isso não invalida a possibilidade de construção dessa analogia, seja nos livros didáticos, seja na sala de aula por professores.

Em relação a adequação pragmática, acreditamos que a mesma foi concebida de forma coerente com o propósito pela qual foi construída, pois é possível se estabelecer correspondências entre os atributos estabelecidos, haja vista que, não encontramos dificuldade em relacionar o tempo gasto para escalar e saltar da montanha com o tempo gasto na etapa lenta e rápida da reação e relacionar a velocidade do esportista escalando e saltando da montanha com a velocidade da etapa mais lenta e mais rápida da reação química.

A comparação C7 fora melhor explorada pelos autores do livro LDN-1 que além de contextualizarem a comparação fizeram o uso de ilustrações para demonstrar o domínio base, além de demonstrarem um exemplo da etapa lenta da reação. Já a autora do livro LDA-1 apresentaram a comparação somente em forma de texto e não procuram facilitar a compreensão da comparação C7, citaram apenas em um mecanismo de reação química, a etapa lenta é a determinante na velocidade da reação. (LDA-1, p.191).

Consideramos que de acordo com a TME a comparação C7 possa ser considerada uma analogia, porém é uma analogia simples, pois possui somente uma relação de primeira ordem.

Quanto ao isomorfismo, percebemos que ambos os autores não se preocupam em estabelecer-lo ou desconhecem a forma de como usá-lo, pois, assim como nas comparações C1,

²² Essa limitação foi citada pela autora do livro LDA-1 p. 190 antes de iniciar a comparação.

C4, C6, identificamos, que os autores não procuraram estabelecer estruturas semelhantes aos enunciados em ambos domínios, o que, ao nosso ver, pode dificultar a o estabelecimento de correspondências por parte dos estudantes.

Em relação à apresentação e discussão de limitações da analogia C7, percebemos que somente no livro LDA-1 houve a citação da que foi mapeada e codificada como $L_1:[R_1(E_3, r_1)]$, porém não foi explicitada. Verificamos que os autores têm explorado de forma pouco eficiente as analogias. Consideramos que o emprego de analogias em livros didáticos tende a ser eficiente se todas as entidades em correspondência (elementos, atributos e relações), incluindo as suas limitações, são adequadamente apresentados, tanto sob o ponto de vista da adequação pragmática da sua construção quanto dos aspectos formais das enunciações referentes aos domínios base e alvo.

5.5.6 Comparação C11

Na comparação C11, mapeada no quadro 15, percebemos que uma diferença na forma de apresentação dessa analogia por parte dos autores de ambos os livros nos quais a encontramos: enquanto que no livro LDA-1 os autores identificam ao longo do texto que estão realizando uma comparação, os autores do livro LDN-1 deixaram a comparação à margem da página aonde está se explicitando o conteúdo científico. Essa diferença pode ser vista nos anexos K e L. Contudo, assim como nas comparações anteriores, em ambos os livros, os autores deixaram explícito o estabelecimento da comparação:

“[...] **De modo análogo**, na reação, a adição de um catalisador torna desnecessário elevar a energia do sistema até que atinja valor correspondente ao complexo ativado”. (LDN-1, p.145, grifo nosso)

“**De acordo com a analogia** que fizemos para introduzir o conceito de Energia de Ativação, o catalisador funcionaria com um túnel. ” (LDA-1, p.202) (grifo nosso)

O quadro 15 apresenta o mapeamento estrutural da comparação C11 entre o papel dos catalisadores nas reações químicas e a função dos túneis nas transposições de veículos automotivos em montanhas.

Quadro 15 - Mapeamento Estrutural da comparação C11

Domínio Base	Correspondência	Domínio Alvo
Montanha sem o túnel	E_1 ←→	Energia de ativação sem catalisador
Montanha com o túnel	E_2 ←→	Energia de ativação com catalisador
Motoristas	E_3 ←→	Reagentes
Tempo gasto para percorrer o trajeto sem o túnel.	$A_1(E_1)$ ←→	Tempo gasto para atingir o valor da energia de ativação sem o catalisador.
Tempo gasto para percorrer o trajeto com o túnel.	$A_2(E_2)$ ←→	Tempo gasto para atingir o valor da energia de ativação com o catalisador.
Velocidade do percurso utilizando o túnel.	$r_1(E_3, A_2)$ ←→	Velocidade da reação química utilizando o catalisador.
Velocidade do percurso sem o túnel.	$r_2(E_3, A_1)$ ←→	Velocidade da reação sem o uso do catalisador.
O tempo gasto no percurso é menor quando se utiliza o túnel.	$r_3(A_1, A_2)$ ←→	O tempo gasto na reação química é menor quando se utiliza o catalisador.
"Com o túnel que corta uma montanha, não precisamos subi-la para depois descê-la, tornando o percurso mais rápido, o que de qualquer forma não interfere no ponto de partida e chegada."	$R_1(r_1, r_2, r_3)$ ←→	Com o catalisador a energia de ativação é menor do que no caso em que não há catalisador, tornando a reação mais rápida, o catalisador não interfere nos reagentes e produtos.
O trajeto percorrido pelo motorista ocorre em nível macroscópico. *	$D_1:[r_1(E_3, A_2)]$ ←×→	A reação química ocorre em nível microscópico.

Fonte: Elaborado pelo autor / *Essas relações foram inferidas durante a leitura do texto, essas relações não foram citadas pelos autores nos livros didáticos.

A partir do mapeamento estrutural da comparação C11, apresentado no quadro 15, verificamos a consistência estrutural estabelecida pelos autores dos livros didáticos, aonde verificou-se que foi estabelecida a correspondência um a um entre o elemento E_2 e o atributo $A_2(E_2)$ nos livros LDN-1 e LDA-1, porém apesar de podemos inferir no texto dos livros didáticos, os elementos E_1 , E_3 e o atributo $A_1(E_1)$ não são mencionados pelos autores. Acreditamos que apesar caso fossem citados pelos autores poderiam auxiliar os estudantes na compreensão da comparação utilizada.

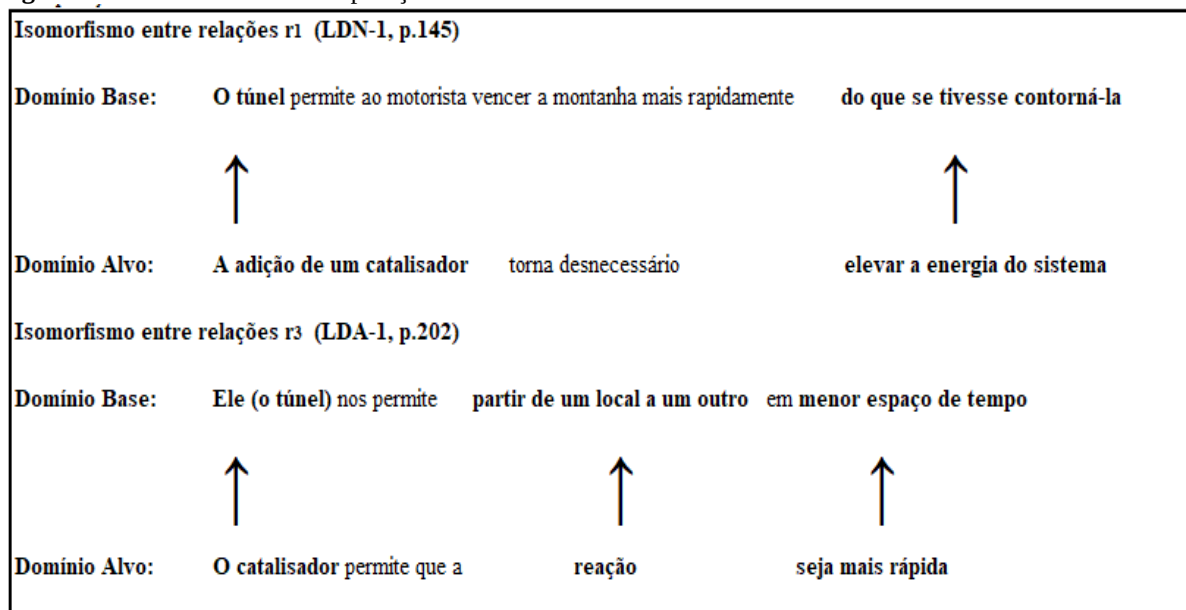
Em relação ao foco da comparação C11, acreditamos que a mesma possua foco relacional, haja vista que, ambos autores dos livros didáticos estabeleceram as relações $r_1(E_3, A_2)$ e $r_3(A_1, A_2)$, porém em relação a sistematicidade, ou seja, o estabelecimento de relações de ordem superior, somente os autores do livro LDA-1 estabeleceram a relação $R_1(r_1, r_2, r_3)$.

Consideramos que a comparação C11 é pouco sistemática, pois há poucos elementos e atributos em correspondência correlacionando entre si e somente os autores do livro LDA-1 estabeleceram relações de ordem superior. Contudo, consideramos que isso não invalida a possibilidade de construção dessa analogia, seja nos livros didáticos, seja na sala de aula por professores.

Em relação a adequação pragmática, consideramos que a mesma foi concebida de forma coerente que o propósito pela qual foi construída, pois é possível se estabelecer uma associação com a velocidade do percurso utilizando o túnel e com a velocidade da reação química utilizando o catalisador.

Quanto o isomorfismo, a figura 11 apresenta enunciados referentes aos dois domínios da comparação confrontados para análise do isomorfismo. O confronto desses enunciados nos permite dizer que há certo isomorfismo que, possivelmente, contribui para a percepção e reconhecimento das correspondências por parte dos estudantes. Esses enunciados praticamente isomórficos foram encontrados no livro LDN-1 e no livro LDA-1, mostrando mais uma semelhança entre livros didáticos antigos e novos, diferentemente da nossa expectativa. A esse respeito, tínhamos a expectativa de encontrar enunciados mais isomórficos com maior frequência nos livros didáticos novos.

Figura 11 - Isomorfismo da comparação C11.



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim como dissemos nas comparações estabelecidas anteriormente, consideramos que tanto as diferenças alinháveis quanto as limitações indicadas em nosso mapeamento devam ser adequadamente apresentadas e discutidas pelos autores de materiais didáticos, evitando que os estudantes interpretem de forma equivocada os conceitos científicos que estão sendo explicitados, porém isso não inviabiliza essa comparação, sendo considerada uma boa analogia.

Capítulo 6 – Considerações Finais

Acreditamos que por meio do nosso referencial teórico, construído a partir da Teoria do Mapeamento Estrutural de Gentner (1983) e Gentner & Markman (1997), e da Teoria das Múltiplas Restrições de Holyoak & Thagard (1989) e das contribuições metodológicas de Ferry (2016, 2018), e da metodologia empregada para a análise estrutural das comparações encontradas nos livros didáticos de Química, conseguimos responder à questão principal desse trabalho: *Como comparações empregadas por autores de livros didáticos de Química contemporâneos, tomadas, a princípio, como analogias para o ensino de conceitos científicos, se diferenciam de comparações empregadas em livros didáticos mais antigos com a mesma finalidade?*

Para tanto, consideramos pertinente retomar as questões que nortearam nosso trabalho empírico a fim de respondê-las e fazer nossas considerações finais sobre os resultados da análise.

Como primeira questão de pesquisa, nos propusemos a responder a seguinte questão: *para quais tópicos de conteúdo da Química os empregos de analogias têm sido mais comuns?* Para responder a tal questionamento fizemos um levantamento que fora apresentado no tópico 2.3, no qual, verificamos, dentre pesquisas realizadas na área de educação em Ciências voltadas para o uso de analogias em livros didáticos, que os tópicos, Estrutura Atômica, Cinética Química e Ligações Química, segundo a literatura são os que mais apresentam comparações potencialmente analógicas. Optamos por Cinética Química por apresentar comparações com maior foco relacional.

Na segunda questão de pesquisa, procuramos responder a seguinte questão: *quais têm sido os domínios base e alvo mais frequentes no estabelecimento de comparações no contexto desses tópicos de conteúdo?* Para responder tal questionamento fizemos a leitura integral dos capítulos que abordavam tópico de conteúdo de Cinética Química, realizando um levantamento e análise das comparações encontradas nos livros que se serviram de fonte para a presente pesquisa, os livros do PNLD 2018-2020 e os livros utilizados na pesquisa de Monteiro & Justi (2000). Aonde identificamos que os domínios bases mais frequentes utilizados pelos autores dos livros didáticos em suas comparações são a forma de uma colmeia e buraco na camada de ozônio e que os autores utilizam o suporte do conversor catalítico e a depleção da camada de ozônio como domínios alvos mais frequentes, respectivamente.

Na terceira questão de pesquisa perguntamos: para quais propósitos essas comparações têm sido empregadas? Em nossa análise percebemos que os livros novos e antigos se diferenciam em relação ao propósito de suas comparações, enquanto os livros novos se preocupam mais no aspecto estrutural de suas comparações, os autores dos livros antigos procuravam demonstrar as etapas em uma reação química, como a ação de um catalisador influencia na velocidade de uma reação, por exemplo.

Na quarta questão de pesquisa questionamos: *de que forma autores de livros didáticos de Química empregam comparações como recurso de mediação?* Para responder a tal questionamento realizamos a leitura dos tópicos e manuais dos professores. Ao analisarmos as comparações propostas constatamos que a maioria dos autores dos livros didáticos têm empregado as comparações de forma mais automática, ou seja, têm reproduzido metáforas, analogias ou outros tipos de comparações sem uma discussão em seu texto sobre limitações ou uma discussão sobre as relações entre os domínios.

Na quinta questão de pesquisa procuramos responder: *quais foram as principais contribuições ou recomendações dadas por pesquisadores que se dedicaram a investigar o modo como analogias são empregadas em livros didáticos de Ciências?* Para responder a esse questionamento procuramos identificar quais pesquisadores que se dedicaram a investigar o modo como analogias são empregadas em livros didáticos de Ciências e quais as principais contribuições deles, dentre esses trabalhos destacamos os de Curtis & Reigeluth (1984), Thiele & Treagust (1994), Monteiro & Justi (2000) e Alvarenga (2017, cujos trabalhos contribuíram de forma significativa para a presente pesquisa.

Curtis & Reigeluth (1984) identificaram e caracterizaram o formato no qual as comparações são apresentadas, o nível de abstração e localização dos domínios base e alvo, categorias essas que foram adotadas por pesquisadores da área.

Thiele & Treagust (1994) nos alertaram sobre a necessidade dos autores de livros didáticos discutirem sobre as limitações das comparações. Já Monteiro & Justi (2000) fizeram um alerta sobre a necessidade de se atentar quanto ao uso de analogias, pois os alunos podem levar a analogia longe demais e, conseqüentemente, estabelecerem relações analógicas incorretas.

Alvarenga (2017) tendo como referencial teórico e metodológico a TME, constatou que nem todos autores de livros didáticos têm dado o devido foco relacional nas comparações

propostas, chegando, em alguns casos, a mencionar domínios de comparações sem focar em nenhuma correspondência. Isso nos leva a refletir sobre a forma que os autores de materiais didáticos têm construído as suas analogias.

Como último desdobramento da nossa questão de pesquisa, procuramos responder: *em que medida o emprego de analogias em livros didáticos mais recentes se diferencia da forma de abordagem desse recurso didático em livros mais antigos?* Para responder a esse questionamento fizemos a caracterização das comparações selecionadas segundo as categorias de Curtis & Reigeluth (1984) apresentadas no tópico 5.4. Concluímos que os autores dos livros novos ao estabelecerem uma comparação potencialmente analógica, tem um cuidado maior tanto na sinalização da existência de limitações quanto na discussão das mesmas em alguns casos.

Respondidas as questões norteadoras e com o auxílio do mapeamento estrutural apresentado na seção 5.5, conseguimos responder à questão de pesquisa do presente trabalho. Percebemos que apesar de os autores de livros novos e antigos procurarem identificar em seus textos que estão fazendo o uso de comparações, somente os autores dos livros novos procuraram identificar e esclarecer as limitações de tais comparações. Em relação as ilustrações das comparações percebemos que os livros didáticos novos utilizam imagens coloridas e com mais detalhes do que as ilustrações encontradas em livros antigos, acreditamos que isso possa ser devido ao desenvolvimento tecnológico das últimas décadas, que disponibilizou que os autores dos livros novos possam ter tido mais acesso a esses recursos.

Durante a análise, tanto os autores dos livros didáticos novos quanto de livros antigos procuraram demonstrar explicitamente que estavam fazendo uma comparação. Nas seis comparações analisadas, também constatamos que, em alguns casos, os autores dos livros didáticos novos se preocupam em discutir as limitações das analogias, com o intuito de gerar melhor compreensão dos estudantes, mas esses mesmos autores não procuraram esclarecer a analogia por completo, ou seja, não exploraram as limitações e diferenças alinháveis de forma mais elaborada.

Em nossa análise constatamos que os autores tanto de livros didáticos de Química da década de 1990 quanto os livros didáticos contemporâneos não construíram muitas comparações com proposições isomórficas, para facilitar a compreensão dos estudantes, no caso do livro LDN-1 somente em duas comparações (C2 e C11) o isomorfismo foi estabelecido, enquanto no livro LDA-1 somente em uma (C11).

Observamos também que apesar dos autores, tanto de livros novos quanto de antigos, construírem as suas comparações consistentes estruturalmente e com o foco nas relações, as analogias apresentadas em seus textos, eram pouco sistemáticas, ou seja, não procuravam explorar relações de ordem superior.

Em relação a adequação pragmática, os autores dos livros, foram coerentes com os propósitos nos quais conceberam as suas analogias e havia também consistência estrutural nelas, haja vista que, não se observou dois elementos ou atributos de um domínio que correspondiam a um mesmo elemento ou atributo do outro domínio.

Em relação a análise das comparações de acordo com as categorias de Curtis & Reigeluth (1984), percebemos que os autores dos livros novos e antigos têm preferência por utilizarem domínio base concreto para explicitarem o conteúdo científico a ser explorado, acreditando que irá facilitar a compreensão dos estudantes. Ainda dentro da análise das categorias de Curtis & Reigeluth (idem), constatamos que os autores dos livros (novos e antigos) tende a utilizar na apresentação de suas comparações o formato ilustrativo-verbal, sempre buscando ilustrar ao menos o domínio alvo (das seis comparações analisadas, somente em três utilizou-se alguma ilustração para o domínio alvo, enquanto, todas as comparações foram ilustradas para o domínio base).

Em síntese concluímos que a os livros didáticos contemporâneos se diferenciam dos livros da década de 1990, em relação à forma como são melhores ilustrados e pela abordagem das limitações das comparações. Acreditamos, porém, que os autores dos livros didáticos contemporâneos devam explorar melhor a sistematicidade e o isomorfismo em suas analogias, haja vista que, existem inúmeras pesquisas que abordam o estudo de analogias e que poderiam contribuir com esses autores, dentre esses trabalhos estão Ferry (2016 e 2018) e Alvarenga (2017), além do presente trabalho.

Contribuições para as Pesquisas sobre Analogias em Livros Didáticos

Acreditamos que este trabalho oferece uma metodologia sistematizada para análise de comparações em livros didáticos de Ciências. A partir do nosso referencial pudemos compreender como as comparações potencialmente analógicas eram exploradas pelos autores de livros didáticos antigos e como são exploradas pelos livros didáticos novos. O presente trabalho não teve como objetivo a simples identificação das comparações ou à verificação se os autores utilizam ou não comparações para auxiliar na explicitação do conteúdo de Cinética

Química, e sim, verificar como esses autores fazem uso desse recurso mediacional.

A respeito do papel das analogias na Educação em Ciências, consideramos que o presente trabalho oferece uma importante contribuição para a compreensão de como as analogias e outras comparações têm sido empregadas e exploradas por autores de livros didáticos.

Consideramos que essa pesquisa permite uma reflexão sobre a importância do uso adequado desse recurso mediacional, no qual, autores de materiais didáticos e professores, ao utilizarem as analogias, procurem esclarecer as relações e limitações de uma comparação, a fim de evitar interpretações equivocadas dos conceitos científicos por parte dos estudantes.

Limitações da investigação

Apesar do rigor com o qual procedemos em nossa pesquisa, reconhecemos que a mesma apresenta algumas limitações. Nos limitamos ao estudo de comparações sobre o conteúdo de Cinética Química, não sendo possível assim analisar como os autores apresentam as comparações para os outros tópicos de conteúdo da Química escolar, tão pouco de outros componentes curriculares, como a Biologia e a Física. Entretanto, consideramos que outros temas devessem ser analisados à luz do nosso referencial teórico e metodológico, ampliando o conhecimento sobre o uso de analogias em livros didáticos de Química e outras áreas afins.

Também consideramos como fator limitante da pesquisa o fato de não conseguirmos ter acesso a alguns livros utilizados na pesquisa de Monteiro & Justi (2000), pesquisa essa que serviu de referência para presente dissertação. Porém, isso não inviabiliza outras pesquisas que possam vir a surgir utilizando com referência o presente trabalho. Acreditamos que seja de suma importância que novas pesquisas venham a surgir sobre o uso de analogias em materiais didáticos, de modo a oferecer orientações mais claras e produtivas aos autores de materiais didáticos na abordagem desse recurso, bem como a contribuir com programas de formação inicial e continuada de professores de Ciências.

Referências

- ALVARENGA, G. R. DE. **Análise estrutural de analogias em livros didáticos de Química**. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2017. [Dissertação de Mestrado].
- BARBOSA, W. V.; FERRY, A.S. **Concepção de um software para mapeamento estrutural de analogias empregadas no ensino de ciências**. Educitec, v. 04, n. 8, p. 224-243, 2018. Edição Especial
- BERNADINO, M.A.D.; RODRIGUES, M.A.; BELLINI, L.M. **Análise crítica das analogias do livro didático público de Química do estado do Paraná**. Ciência & Educação, v. 19, n. 1, p. 135–150, 2013.
- BOZELLI, F. C.; NARDI, R. **O uso de analogias no ensino de Física em nível universitário: interpretações sobre os discursos do professor e dos alunos**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. v.6, n.3, 2006.
- BOZELLI, F. C.; NARDI, R. **Interações discursivas e o uso de analogias no ensino de Física**. Investigações em Ensino de Ciências. v.17(1). p. 81-107, 2012.
- BRASIL. Decreto-Lei 93, 21 de dezembro de 1937. **Cria o Instituto Nacional do Livro** Disponível em:< www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/Del093.htm> Acesso: 03 abr. 19.
- BRASIL. Decreto-Lei 1006, 30 de dezembro de 1938. **Estabelece as condições de produção, importação e utilização do livro didático**. Disponível em:<<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1930-1939/decreto-lei-1006-30-dezembro-1938-350741-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso: 31 out. 18.
- CURTIS, R. V.; REIGELUTH, C. M. **The use of analogies in written text**. Instructional Science, v. 13, n. 2, p. 99–117, 1984.
- BRASIL. Decreto Lei 8.460, 26 de dezembro de 1945. **Consolida a legislação sobre as condições de produção, importação e utilização do livro didático**. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1940-1949/decreto-lei-8460-26-dezembro-1945-416379-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso: 31 out. 18.
- BRASIL. Decreto Lei 91.542, 19 de agosto de 1985. **Institui o programa nacional do livro didático, dispõe sobre sua execução e dá outras providências**. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-91542-19-agosto-1985-441959-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso: 31 out. 18.
- BRASIL. Decreto Lei 9.099, 18 de julho de 2017. **Dispõe sobre o Programa Nacional do Livro e do Material Didático** Disponível em: <http://www.fnde.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/legislacao/item/10941-decreto-n%E1tco_MarceloSoaresPereiraDaSilva.pdf> Acesso: 03 abr. 19.
- BRASIL. Ministério da Educação - MEC.. **Pronunciamento na audiência pública no Senado Federal sobre o Programa Nacional do Livro Didático** Disponível em: <http://www.senado.leg.br/comissoes/CE/AP/AP20081112_LivroDid%E1tico_MarceloSoaresPereiraDaSilva.pdf> Acesso: 03 abr. 19., Brasília, 12 de nov. 08

BRASIL.Ministério da Educação, **Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD)** Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=12391:pnld>> Acesso: 03 abr. 19.

Diário Oficial da União (DOU) – Seção 1. Anexo III. **Obras reprovadas**. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=28/06/2017&jornal=1&pagina=21&totalArquivos=352>>. Acesso em: 31 out. 18

DUARTE, M. DA C. **Analogias na educação em ciências**: contributos e desafios. Investigações em Ensino de Ciências, v. 10, n. 1, p. 7–29, 2005.

DUIT, R. **On the role of analogies and metaphors in learning science**. Science Education, 75, 649-072, 1991.

FERREIRA, H. L. D.; FERRY, A. S. **Domínios base e alvo de analogias e outros tipos de comparação sobre reações em equilíbrio químico presentes em livros didáticos**. In: Seminário Nacional de Educação Profissional e Tecnológica, V, 2017, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: SENEPT, 2017. p. 124

FERREIRA, H. L. D.; FERRY, A. S. **Ilustrações em analogias empregadas no ensino de cinética química em livros didáticos**. In: 20º Encontro de Avaliação do Programa Institucional de Iniciação Científica. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Apresentação de Banner. Belo Horizonte: 14ª Semana C&T, 15 a 20 de outubro de 2018.

FERRAZ, D. F.; TERRAZZAN, E. A. **O uso de analogias como recurso didático por professores de Biologia no ensino médio**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. v.1, n. 3, 2001.

FERRAZ, D. F.; TERRAZZAN, E. A. **O uso espontâneo de analogias por professores de Biologia: observações da prática pedagógica**. Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências. v. 4, n. 2, 2002.

FERRAZ, D. F.; TERRAZZAN, E. A. **Uso espontâneo de analogias por professores de Biologia e o uso sistematizado de analogias**: que relação? Ciência & Educação (Bauru), v. 9, n. 2, p. 213-227, 2003.

FERRY, A. da S. **Analogias e contra-analogias**: Uma estratégia didática auxiliar para o ensino de modelos atômicos. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2008. [Dissertação de Mestrado].

FERRY, A. da S. **Análise estrutural e multimodal de analogias em uma sala de aula de Química**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. [Tese de Doutorado]

FERRY, A. DA S.; NAGEM, R. L. **Modelo de compreensão do raciocínio analógico por duas vias**: uma contribuição para o ensino e a aprendizagem em ciências com recursos às analogias. Latin American Journal of Science Education, v. 2, n. 1, p. 12062-1-12062–22, 2015.

FERRY, A. da S.; PAULA, H. de F. E. **Mapeamento estrutural de analogias enunciadas em uma aula sobre cinética química**. Ciência & Educação, v. 23, n. 1, p. 29–50, 2017.

FERRY, A. da S. Atualização do Mapeamento Estrutural das Analogias e Contribuições para o Campo. In: FERRY, A. da S. **Pesquisas sobre analogias no contexto da educação em ciências à luz da teoria do mapeamento estrutural (structure-mapping theory)**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018. considerações finais, p.110-114.

FRANCISCO JUNIOR, W. E. **Analogias em livros didáticos de Química: um estudo das obras aprovadas pelo plano nacional do livro didático para o ensino médio 2007.** Ciências & Cognição. v. 14, n. 1, p. 121-143, 2009.

FRANCISCO JUNIOR, W. E. *et al* **Um estudo das analogias sobre equilíbrio químico nos livros aprovados pelo PNLEM 2007.** Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 13, n. 2, p. 85-100, 2011.

FRANCISCO JUNIOR, W. E.; FRANCISCO, W.; OLIVEIRA, A. C. G. **Analogias em livros de química geral destinados ao ensino superior.** Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 14, n. 3, p. 131-147, 2012.

FUNDO NACIONAL de DESENVOLVIMENTO da EDUCAÇÃO. FNDE. **Funcionamento PNLD.** Disponível em: < <http://www.fnde.gov.br/programas/programas-do-livro/pnld/funcionamento>> Acesso em: 03 de abr. de 2019

FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. FNDE. Edital de convocação 04/2015. Disponível em: <<https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/programas-do-livro/consultas/editais-programas-livro/item/7932-pnld-2018>> Acesso em: 03 de abr. de 2019

FUNDO NACIONAL de DESENVOLVIMENTO da EDUCAÇÃO. FNDE. **Histórico do livro didático.** Disponível em: <<https://www.fnde.gov.br/programas/programas-do-livro/legislacao/item/518-historico>> Acesso em: 31 de out. de 2018a

FUNDO NACIONAL de DESENVOLVIMENTO da EDUCAÇÃO. FNDE. **Guia do livro didático PNLD 2018.** Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/programas/programas-do-livro/livro-didatico/guia-do-livro-didatico/item/11148-guia-pnld-2018>> Acesso: 31 out. 18b.

GENTNER, D. **Structure-Mapping: a theoretical framework for analogy.** Cognitive Science, v. 7, p. 155–170, 1983

GENTNER, D.; MARKMAN, A. B. **Structure mapping in analogy and similarity.** American Psychologist, v. 52, n. 1, p. 45–56, 1997

HOLYOAK, K. J.; THAGARD, P. **Analogical mapping by constraint satisfaction.** Cognitive Science. v. 13, p. 295-355, 1989.

LOPES.A.R.C. **Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química.** Química Nova, v. 21, n. 3, p. 254-261, 1992.

MARKMAN, A. B.; GENTNER, D. **Commonalities and differences in similarity comparisons.** Memory & Cognition, v. 24, n. 2, p. 235-249, 1996.

MÓL, G. de S. **O uso de analogias no ensino de Química.** Brasília. Universidade de Brasília, 1999. [Tese de Doutorado]

MONTEIRO, I. G.; JUSTI, R. **Analogias em livros didáticos de Química brasileiros destinados ao ensino médio.** Investigações em Ensino de Ciências, v. 5, n. 2, p. 67–91, 2000.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. **A elaboração de analogias como um processo que favorece a expressão de concepções de professores de Química.** Educacion Quimica, v. 24, n. SPL.ISSUE1, p. 163–173, 2013.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. **"Nem tudo que reluz é ouro"**: Uma discussão sobre analogias e outras similaridades e recursos utilizados no ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 15, n. 1, p. 123–147, 2015.

MURTA, G. S. **Análise estrutural de analogias e outras comparações em livros didáticos de Biologia**. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2017. [Dissertação de Mestrado].

NAGEM, R. L. **Documentos de comprovação básica**: à promoção a professor titular. Concurso Público Magistério Superior do CEFET-MG, Anexo 2 p. 1–49, 1997. Belo Horizonte, Minas Gerais.

PEDROSO, C. V.; AMORIM, M. A. L.; TERRAZZAN, E. A. **Uso de analogias em livros didáticos de Biologia**: um estudo comparativo. VI Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciência. Anais... Paraná: Florianópolis, 2007. Disponível em: <<http://axpfep1.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p1029.pdf>.> Acesso em 25 out. 2018.

TERRAZZAN, E. A. *et al* **O uso de analogias em coleções didáticas de Física, Química e Biologia segundo o “estilo dos autores” e a “natureza ” do tópico conceitual**. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, p. 1–16, 2003. Bauru, São Paulo.

THIELE, R. B.; TREAGUST, D. F. **The nature and extent of analogies in secondary chemistry textbooks**. *Instructional Science*, v. 22, p. 61-74, 1994.

THIELE, R. B.; VENVILLE, G.J.; TREAGUST, D. F. **A comparative analyses of analogies in secondary Biology and Chemistry textbooks used in australian schools**. *Science Education*, v. 25, n 2, p. 221-230, 1995.

TURIN.J.; AIRES.J.A. **O Programa Nacional do Livro Didático**: um estudo sobre a escolha do livro didático de química por professores da rede pública de ensino de Curitiba. *Série-Estudos*. Campo Grande, MS. V.21, n.41, p. 128-152, 2016

SANTOS, S. C. S.; TERÁN, A. F.; SILVA-FORSBERG, M. C. **Analogias em livros didáticos de Biologia no ensino de zoologia**. *Investigações em Ensino de Ciências*. v. 15, n. 3, p. 591-603, 2011.

SOUZA, J. R. L. M. **Analogias nas ciências da saúde**: Um estudo em livro e com profissionais de fisioterapia. Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2013. [Dissertação de Mestrado].

Anexos

Apresentamos neste anexo à forma como comparações potencialmente analógicas C1, C2, C4, C7, C6 e C11 foram ilustradas pelos autores dos livros didáticos LDN-1 e LDA-1.

Anexo A - Comparação C1 no livro LDN-1

O conceito de taxa (velocidade) de uma reação química

Imagine que uma colher de açúcar é colocada próximo de um formigueiro. Quantas formigas serão atraídas na direção da colher de açúcar? Veja ao lado como podemos registrar o número de formigas que chegam ao açúcar em certo intervalo de tempo.

Com base nesses dados, podemos determinar a velocidade com que as formigas são atraídas para o açúcar, fazendo o cálculo do número de insetos que chegam ao açúcar num dado intervalo de tempo.

Número de formigas por intervalo de tempo	
Intervalo de tempo (minutos)	Número de formigas
0	0
1	10
2	18
3	24
...	...

▶ intervalo de 0 a 1 minuto:
 $\Delta t = 1 \text{ min}$
número de formigas: 10
 $v_1 = \frac{10 \text{ formigas}}{1 \text{ min}}$

▶ intervalo de 1 a 2 minutos:
 $\Delta t = 1 \text{ min}$
número de formigas: 8
 $v_2 = \frac{8 \text{ formigas}}{1 \text{ min}}$

▶ intervalo de 2 a 3 minutos:
 $\Delta t = 1 \text{ min}$
número de formigas: 6
 $v_3 = \frac{6 \text{ formigas}}{1 \text{ min}}$

A velocidade em qualquer intervalo de tempo, genericamente representada por v_i ($v_1, v_2, v_3, \dots$), corresponde à "velocidade de atração", e Δt corresponde ao intervalo de tempo referente a essa variação.

Para calcular a **velocidade média** (v_m) no intervalo de 0 a 3 minutos, temos:

$$v_m = \frac{24 \text{ formigas}}{3 \text{ min}} = \frac{8 \text{ formigas}}{1 \text{ min}}$$

Repare que, no exemplo das formigas, a velocidade com que elas são atraídas ao açúcar não é constante, tendo diminuído com o tempo: a cada minuto transcorrido, o número de formigas atraídas diminui. Isso também acontece com as moléculas de um reagente, como vamos analisar adiante. Em todo caso, a comparação para por aí; por exemplo, no caso do sistema que analisaremos, os reagentes e produtos são gasosos e, como você sabe, as moléculas de uma substância no estado gasoso movimentam-se com grande velocidade e têm energia cinética muito alta, o que as distancia do exemplo das formigas. Além disso, lembre-se de que as formigas continuam sendo formigas e o açúcar continua sendo açúcar, enquanto numa reação química isso não ocorre.

Vamos agora analisar dados experimentais obtidos para a seguinte reação:

$$\text{CO(g)} + \text{NO}_2\text{(g)} \longrightarrow \text{CO}_2\text{(g)} + \text{NO(g)}$$

monóxido de carbono dióxido de nitrogênio (castanho) dióxido de carbono óxido nítrico (incolor)

À medida que essa reação acontece, ocorre o descoramento gradual da mistura gasosa inicial. Isso porque, com exceção do reagente NO_2 , que é castanho, os demais gases são incolores.

Na tabela ao lado, você encontra os valores da concentração de CO(g) , em mol/L – indicada por $[\text{CO}]$ –, medidos a 400°C ; a concentração inicial de CO é igual à de NO_2 e vale 0,10 mol/L.

Concentração de CO no decorrer da reação com NO_2					
$[\text{CO}]$	0,10	0,067	0,050	0,040	0,033...
Intervalo de tempo (s)	0	10	20	30	40

Fonte: MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J. *Química geral superior*. 4. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1978, p. 307.

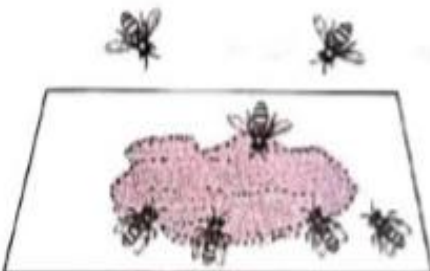
Observação:
Como a quantidade de cada um dos reagentes decresce com o tempo, devido à formação de produtos, a velocidade de reação em relação aos reagentes tem sinal negativo, pois a variação da quantidade de um reagente corresponde à diferença entre a quantidade final e a inicial. No entanto, comumente consideramos o módulo dessa variação, fazendo com que a velocidade, em relação a qualquer participante da reação, seja positiva.

Anexo B - Comparação C1 no livro LDA-1

Conceito de velocidade de reação

Para que você possa entender mais claramente o significado de velocidade de reação, vamos fazer uma comparação.

Imagine uma garrafa de mel que tomba, espalhando seu conteúdo sobre uma superfície. Se, nas proximidades, houver grande número de abelhas, elas serão atraídas pelo mel. Poderemos, então, contar o número de abelhas que chega ao mel em certo intervalo de tempo.



tempo (minutos)	número de abelhas
0	0
1	10
2	18
3	24
...	...
...	...

Com isto, poderemos determinar a “velocidade de atração das abelhas”, fazendo o cálculo do número de insetos que chegam ao mel num dado intervalo de tempo. No caso do exemplo, teremos:

- intervalo de 0 a 1 min: $\Delta t = 1 \text{ min}$ n° de abelhas: 10

$$\text{velocidade de atração} = \frac{10 \text{ abelhas}}{(0 - 1) \cdot \text{min}}$$
- intervalo de 1 a 2 min: $\Delta t = 1 \text{ min}$ n° de abelhas: 8

$$\text{velocidade de atração} = \frac{8 \text{ abelhas}}{(1 - 2) \cdot \text{min}}$$
- intervalo de 2 a 3 min: $\Delta t = 1 \text{ min}$ n° de abelhas: 6

$$\text{velocidade de atração} = \frac{6 \text{ abelhas}}{(2 - 3) \cdot \text{min}}$$

Se quisermos calcular a *velocidade média* (v) de atração, no intervalo de 0 a 3 min, teremos:

$$v = \frac{24 \text{ abelhas}}{3 \text{ min}} = \frac{8 \text{ abelhas}}{\text{min}}$$

No exemplo, notamos que a “velocidade de atração” caiu com o tempo. Isto é natural, pois, quando o número de abelhas que se espalham na superfície do mel aumenta, vai ficando cada vez mais difícil a aproximação de outras abelhas, até por falta de espaço.

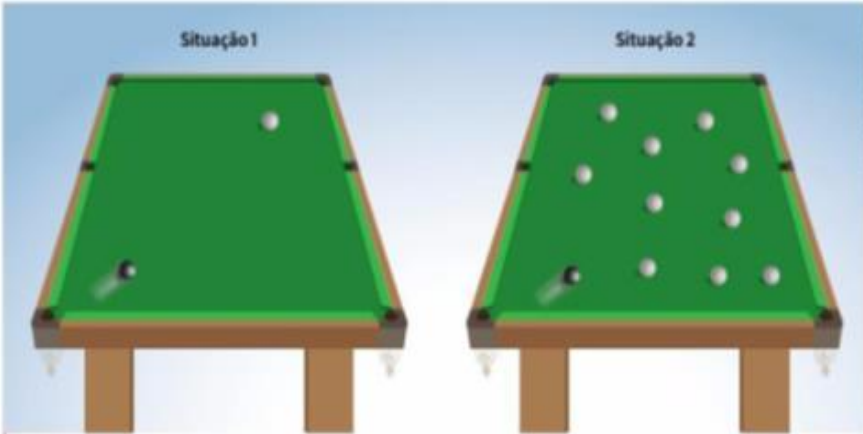
Fonte: LDA-1 Editora Atual, p. 177

Anexo C - Comparação C2 no livro LDN-1

A teoria das colisões

Para explicar as constatações experimentais que acabamos de discutir, os estudos da Cinética Química levaram à proposição da teoria das colisões.

Vamos considerar o fator concentração e usar uma analogia para analisá-lo. Observe:



Situação 1: mesa de bilhar com duas bolas, uma preta e uma branca. **Situação 2:** mesa de bilhar com uma bola preta e dez brancas. Em qual das duas situações será mais fácil provocar o choque de uma bola preta com uma branca? Evidentemente, na segunda situação, em que o número de bolas brancas é maior. Quanto maior o número de bolas, maior a probabilidade de choques.

Segundo a teoria das colisões, o que determina a velocidade de reação é a natureza e a quantidade de choques moleculares, o que explica a analogia feita com as bolas de bilhar.

Alguns esclarecimentos: cabe observar que, como ocorre com qualquer analogia científica, a analogia entre a colisão das bolas de bilhar e o choque de moléculas apresenta muitas limitações. Basta lembrar que o choque entre as bolas implica alteração substancial da quantidade de energia mecânica, o que não acontece no nível molecular: os choques entre moléculas não implicam perda de energia cinética e, por isso, diz-se que são perfeitamente elásticos. No caso das bolas de bilhar, o choque não fará com que elas se deformem ou se rompam, o que é bem diferente no caso de colisões moleculares, como veremos adiante.

Assim, para haver transformação química, é essencial que haja colisão entre moléculas. Quanto maior for o número de colisões entre as espécies reagentes, maior será a velocidade de reação.

Ilustração produzida para este conteúdo.
Cores fantasia, sem escala.

Fonte: LDN-1 Editora Positivo, 1ª edição, p.130

Anexo D - Comparação C2 no livro LDA-1

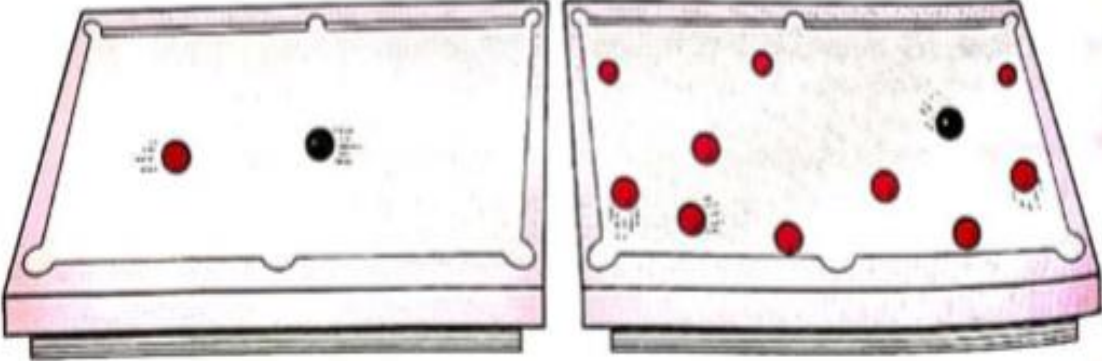
A teoria da colisão

Se você observar os valores experimentais analisados para a reação de CO e NO_2 , vai verificar que a velocidade da reação decresce com o tempo. A razão deste fato parece simples: à medida que a reação acontece, a concentração dos reagentes NO_2 e CO diminui; como a velocidade é proporcional à concentração dos reagentes, ela vai caindo com o tempo.

A dependência entre concentração dos reagentes e velocidade de reação é um fato quase que geral nas reações químicas. Como esta *verificação experimental* pode ser explicada *teoricamente*? Os estudiosos da Cinética Química propuseram a *Teoria das Colisões*.

Vamos fazer uma comparação para que você possa visualizar o que foi dito.

Imagine uma mesa de bilhar. Suponha que duas bolas, uma preta e uma vermelha, estejam sobre a mesa. Suponha agora que uma bola preta e dez vermelhas estejam sobre o feltro. Em qual das duas situações será mais fácil provocar o choque de uma bola preta com uma vermelha? Evidentemente, na segunda situação, em que o número de bolas vermelhas é maior, o que aumenta a probabilidade de choques.



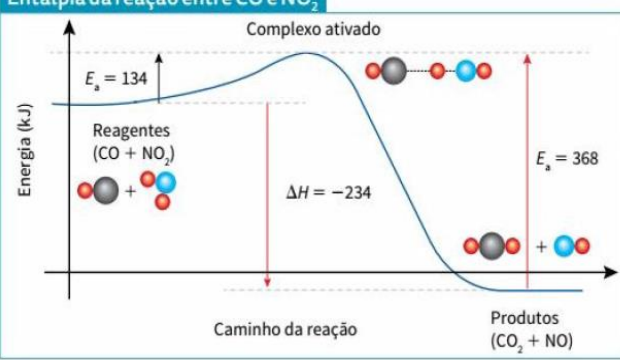
Segundo a *Teoria das Colisões*, quanto maior a concentração de um reagente que participa de um processo, maior a velocidade da reação, pois, para que haja transformação química, é essencial que as moléculas de um reagente *colidam* com as de outro.

Fonte: LDA-1 Editora Atual, p. 182

Anexo E - Comparação C4 no livro LDN-1

Observe o gráfico da energia em função do caminho da reação para a transformação.

Entalpia da reação entre CO e NO₂



Reagentes (CO + NO₂)

Complexo ativado

Produtos (CO₂ + NO)

$E_a = 134$

$E_a = 368$

$\Delta H = -234$

Energia (kJ)

Caminho da reação

Cores fantasia, sem escala.

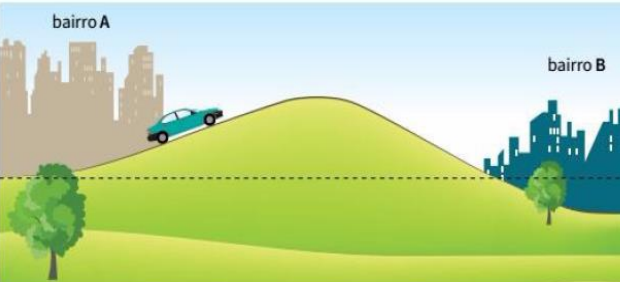
O gráfico mostra que a energia que deve ser fornecida ao sistema para a reação ter início é 134 kJ (energia de ativação). A reação é exotérmica: libera 234 kJ para cada mol de CO(g) e NO₂(g) que reage.
Nota: As unidades foram convertidas do original, em kcal, para kJ.

Fonte: MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J. *Química geral superior*. 4. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1978. p. 317.

O complexo ativado tem entalpia maior do que a de reagentes e produtos. A energia de ativação vale 134 kJ/mol.

Quanto maior for a energia de ativação de uma reação espontânea, menor será a velocidade da reação, já que haverá menos moléculas se chocando com energia acima desse valor mínimo. O inverso também é verdadeiro. É por isso que o aumento da temperatura eleva a energia cinética média das moléculas; com isso haverá maior número de moléculas se chocando com energia igual ou superior à de ativação, o que faz com que ocorram mais colisões eficazes.

Façamos uma analogia para tornar mais claros esses conceitos. Observe a figura:



bairro A

bairro B

Ilustração produzida para este conteúdo.
Cores fantasia, sem escala.

Apesar de o local de partida (bairro A) corresponder a uma energia potencial maior que a do local de destino (bairro B), se entre esses lugares houver uma região mais alta que A, portanto com energia potencial maior que a relativa a ela, isso dificultará o percurso entre os bairros A e B.

Imagine que uma pessoa esteja em um bairro A de certa cidade e queira se dirigir ao bairro B, do qual dista poucos quilômetros e que está a uma altitude pouco menor que a dele. Nessa analogia, a região superior do morro (veja a ilustração) corresponderia ao complexo ativado; isto é, se não houvesse a necessidade de atingir o topo do morro (região com maior energia potencial que a dos bairros A e B), para ir de A até B bastaria descer, isto é, deslocar-se de uma região de maior energia potencial para outra de menor energia.

Algo semelhante ocorre com a reação analisada: nesse caso, a entalpia dos reagentes é maior que a dos produtos; ainda assim, como a entalpia do complexo ativado é superior à dos reagentes, é preciso que os reagentes ganhem energia para atingir o nível de entalpia do complexo ativado. Ou seja, mesmo nesse caso, em que a reação libera calor para o ambiente, é necessário fornecer calor aos reagentes para que a reação ocorra.

Vale lembrar que a analogia se valeu de objetos do mundo macroscópico, que são, em todos os sentidos, bem diferentes dos elementos do "universo" das moléculas. Além disso, aqui consideramos apenas um objeto, o automóvel, e, no caso das moléculas, ao menos duas delas terão de se chocar para que se atinja a energia do complexo ativado. Com o exemplo, pretende-se apenas que você reflita sobre o que há em comum entre o percurso do automóvel e a energia de reagentes ao se transformarem em produtos.

Considere uma reação 1, exotérmica, e sua inversa, reação 2, endotérmica.

Fonte: LDN-1 Editora Positivo, 1ª edição, p.132

Anexo F - Comparação C4 no livro LDA-1

Chamamos de **energia de ativação** (E_a) à energia mínima necessária para que os reagentes possam se transformar em produtos.

Ao atingir a energia de ativação, os reagentes são transformados em um *produto intermediário*, altamente instável, chamado *complexo ativado*.

No caso da reação $\text{CO} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NO}$, podemos supor que, intermediariamente, se forme um conjunto de CO e NO_2 , em que as ligações de N e O estejam enfraquecidas (linhas pontilhadas):



Vamos representar este processo em um gráfico de entalpia (H):

Note que o complexo ativado tem entalpia maior que a dos reagentes (32 kcal maior) e maior que a dos produtos (88 kcal de E_a e 56 kcal de ΔH).

A energia de ativação corresponde a uma conquista de energia indispensável para que a reação se concretize. Vamos fazer uma comparação.

Imagine que você esteja em um local A de uma cidade e queira se dirigir a um outro a poucos quilômetros de distância, de altitude aproximadamente igual (local B).

Se analisarmos a energia potencial dos dois lugares A e B, diremos que elas são iguais, uma vez que as altitudes são as mesmas.

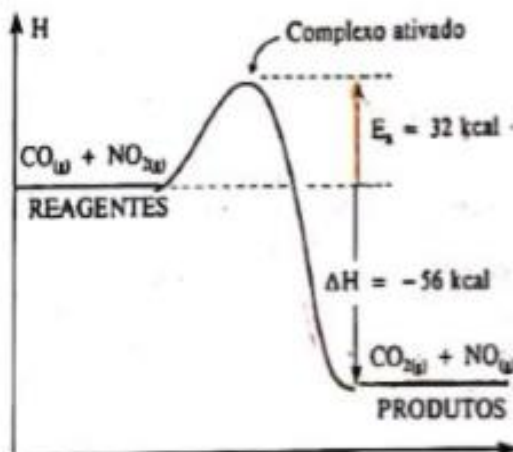
Não podemos concluir, porém, que ao nos deslocarmos de A até B iremos passar somente por locais de energia potencial igual ou menor. Entre esses dois pontos pode existir uma região mais alta, com maior energia potencial.

É o que acontece se estivermos na Av. Brigadeiro Luís Antônio, próximo ao Parque Ibirapuera, em S. Paulo, e quisermos atingir o centro da cidade, através dessa avenida. Nesse percurso teremos que subir até atingir o ponto mais alto, portanto de maior potencial, na Av. Paulista. Assim que a atravessarmos, iniciaremos um processo de descida, o que nos fará voltar a pontos de menor energia potencial.

A Av. Paulista corresponderia ao complexo ativado que mencionamos ao falar do gráfico de entalpia. A diferença de energia potencial entre o topo, representado pela Av. Paulista, e a região do Parque do Ibirapuera equivaleria à Energia de Ativação.



É graças à "dificuldade" representada pela energia de ativação que uma reação espontânea* pode acontecer tão lentamente, dando-nos a impressão de *não ocorrer por si só*.

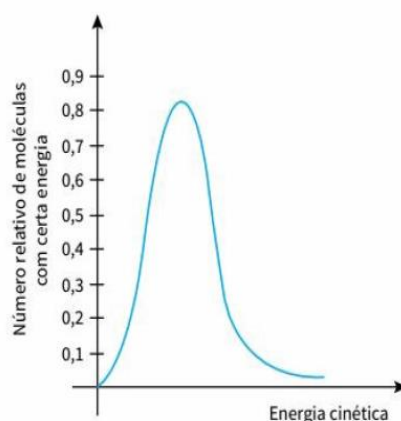


Anexo G - Comparação C6 no livro LDN-1

Vamos analisar a curva de distribuição de energia ao lado.

Para que você possa compreender o significado deste gráfico, nas atividades a seguir, vamos fazer uma analogia com uma situação que você conhece bem: as notas obtidas pelos alunos de uma escola.

Distribuição da energia cinética de um grupo de moléculas



Atividades

Considere o rendimento escolar de um mesmo grupo de alunos em dois anos consecutivos, 2017 e 2018.

O rendimento corresponde aos primeiros bimestres do 1º ano (2017) e do 2º ano (2018).

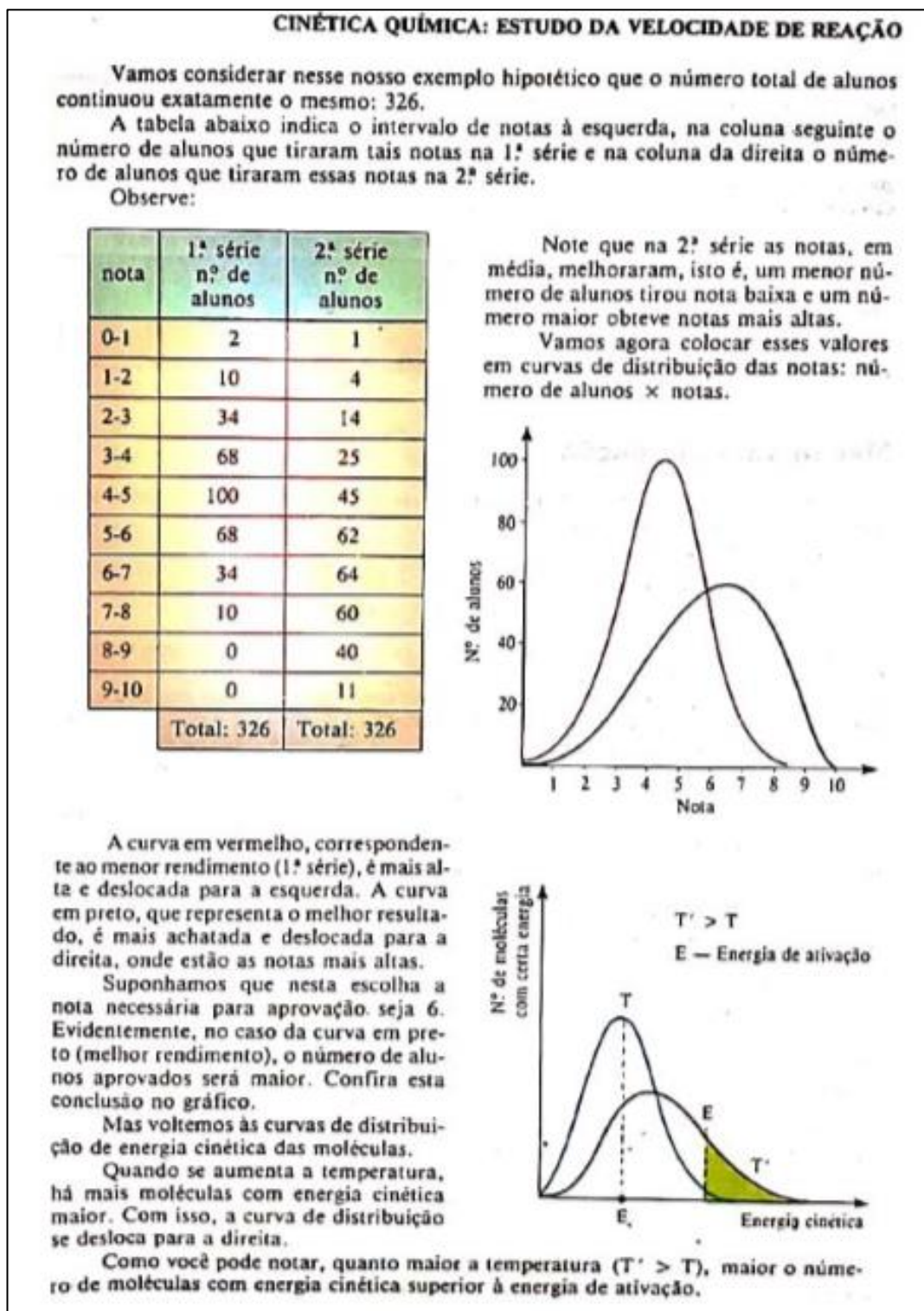
Você pode interpretar a tabela assim:

- dois alunos tiraram nota entre 0,0 e 1,0 em 2017; já em 2018 somente um aluno obteve nota no mesmo intervalo;
- dez alunos obtiveram nota entre 1,1 e 2,0, em 2017, e somente quatro, em 2018;
- e assim por diante.

Nota	Número de alunos	
	1º ano (2017)	2º ano (2018)
0,0 – 1,0	2	1
1,1 – 2,0	10	4
2,1 – 3,0	34	14
3,1 – 4,0	68	25
4,1 – 5,0	100	45
5,1 – 6,0	68	62
6,1 – 7,0	34	64
7,1 – 8,0	10	60
8,1 – 9,0	0	40
9,1 – 10,0	0	11
	Total: 326	Total: 326

1. Em um papel milimetrado, represente, por meio de gráfico de barras, o número de alunos $\times$ nota para os dois anos (use cores diferentes de lápis). Pelos pontos médios das barras, faça curvas correspondentes às duas situações.
2. Em termos gerais, do 1º ano para o 2º, o que ocorreu com o rendimento do grupo?
3. Por que a curva do 2º ano ficou mais achatada? Para que lado ela se deslocou?
4. Contando os quadrinhos da área quadriculada de ambas as curvas, explique por que o rendimento médio da turma melhora e a curva traçada necessariamente se achata.
5. Suponha que a nota considerada satisfatória (a média mínima) seja 6,0. Indique-a no gráfico e explique como ele nos fornece a informação de que no 2º ano há mais alunos acima da média.

Anexo H - Comparação C6 no livro LDA-1



Fonte: LDA-1 Editora Atual, p. 189

Anexo I - Comparação C7 no livro LDN-1

Suponha a seguinte situação: um esportista tem o desafio de realizar um conjunto de duas atividades em um tempo inferior ao obtido por outro esportista, que as realizou um mês antes. Em primeiro lugar, ele deve escalar uma montanha; depois, deve saltar do topo dessa montanha, voltando ao ponto de partida (veja as fotos).



Escalar a montanha.

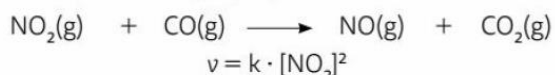


Saltar. O equipamento usado para o salto chama-se *wingsuit* ("traje para voar").

Agora reflita: certamente, a primeira parte da tarefa é muito mais demorada do que a segunda; assim, o tempo total para realizar o desafio é praticamente o tempo gasto para escalar a montanha.

Agora transponha esse raciocínio para a análise da reação.

A etapa (1), $2\text{NO}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$, por ser lenta, determina a velocidade do processo. Por isso, apesar de a equação global ser:



temos uma reação de segunda ordem (de ordem 2 em relação a NO_2 e de ordem zero em relação a CO). O número 2, que indica "segunda ordem", é o expoente da concentração em mol/L do NO_2 na etapa lenta.

Concluimos que a velocidade de uma reação é determinada por sua etapa mais lenta.

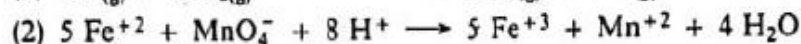
Fonte: LDN-1 Editora Positivo, 1ª edição, p.142

Anexo J - Comparação C7 no livro LDA-1

Mecanismo de reação

Você já sabe que para que as moléculas reagentes originem produto, é essencial que haja uma *colisão eficaz* entre elas.

Observe as equações:



Os coeficientes de acerto da equação (1) podem nos “sugerir” que uma molécula de $\text{CO}_{(g)}$ deve colidir com uma molécula de $\text{NO}_{2(g)}$ para que originem uma molécula de cada um dos produtos. Por raciocínio semelhante, a equação (2) nos leva a supor o choque *simultâneo* de 5 íons Fe^{+2} , 1 íon MnO_4^- e 8 íons H^+ , o que, convenhamos, é altamente improvável que aconteça.

Uma reação química que dependa da colisão de quatro ou mais moléculas ao mesmo tempo deve acontecer com velocidade muitíssimo baixa.

É por essa razão que qualquer reação química complexa que ocorra com uma velocidade razoável é, na realidade, a soma de uma série de processos mais simples (*etapas de reação*).

Chamamos de **mecanismo de reação** ao conjunto de etapas segundo as quais os reagentes interagem para originar os produtos.

Já sabemos que, de modo geral, o *aumento da concentração* de um dado reagente *aumenta a velocidade de uma reação*, na medida em que as probabilidades de choques moleculares aumentam. No entanto, devido à existência de etapas intermediárias, *nem todos os reagentes afetam a velocidade de uma reação*, e quando o fazem podem agir em intensidades diferentes.

Para que você possa entender isto, vamos fazer uma comparação.

Suponha que um indivíduo deva cumprir a seguinte tarefa: escalar uma montanha e saltar de pára-quedas do seu topo.

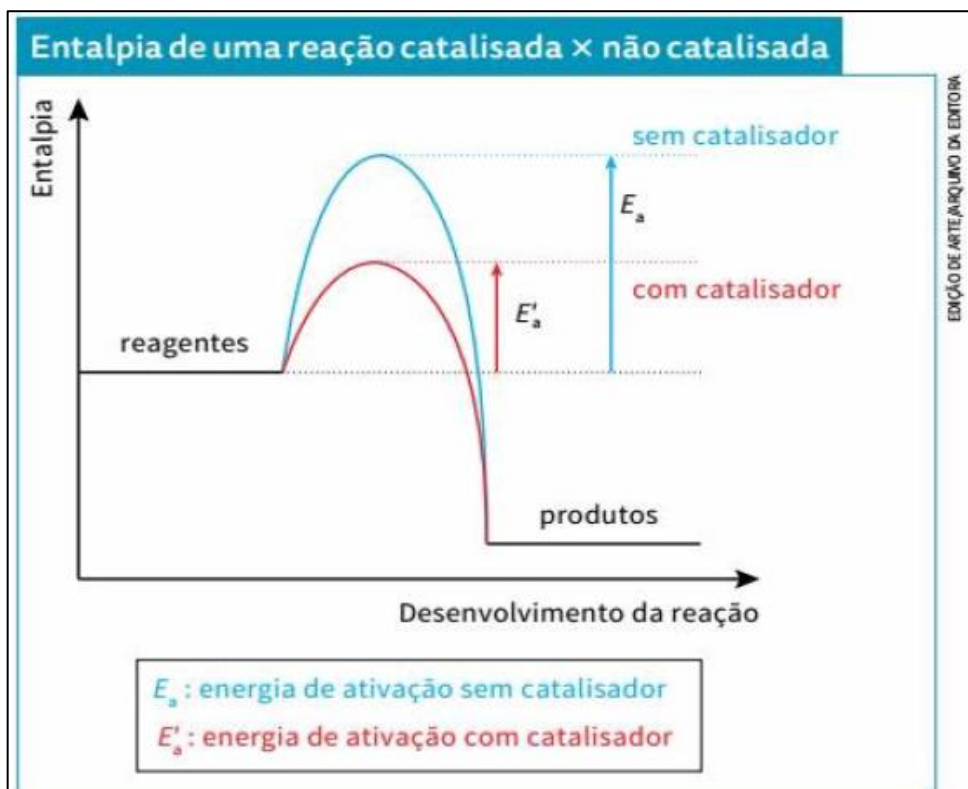
Vamos dividir sua missão em duas etapas:

1. escalar a montanha;
2. saltar de pára-quedas.

Evidentemente, o tempo em que é realizada cada uma dessas etapas é bastante diferente. O tempo para que a primeira seja executada é muitíssimo maior que o da

Fonte: LDA-1 Editora Atual, p. 190

Anexo K - Comparação C11 no livro LDN-1



Esboço de gráfico mostrando o abaixamento da energia de ativação de uma reação quando se usa catalisador. Gráfico elaborado para este conteúdo.



Este túnel em Florianópolis, Santa Catarina (foto de 2013), liga o centro a outros bairros. O túnel permite ao motorista vencer a montanha mais rapidamente do que se tivesse que contorná-la; é um caminho alternativo, que pode ser percorrido com menor gasto de energia. De modo análogo, na reação, a adição de um catalisador torna desnecessário elevar a energia do sistema até que atinja valor correspondente ao complexo ativado.

Fonte: LDN-1 Editora Positivo, 1ª edição, p.145

Anexo L - Comparação C11 no livro LDA-1

Catalisador

Chamamos de **catalisador** a uma substância que aumenta a velocidade de uma reação e não é consumida durante o processo.

Como age um catalisador?

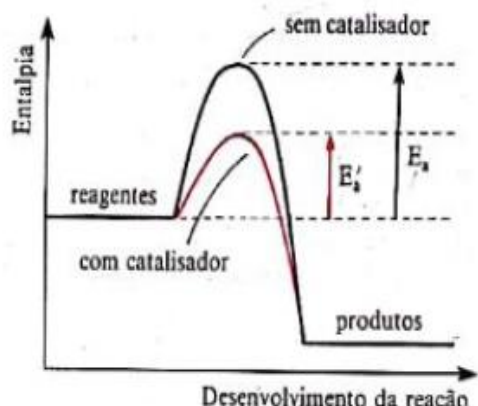
Sabe-se que um catalisador é específico de um processo. Ou seja, uma substância que funciona como catalisador para uma reação pode não o ser para uma outra, podendo até retardar essa última.

Muitos catalisadores têm sido descobertos acidentalmente, e vários mecanismos de catálise permanecem desconhecidos.

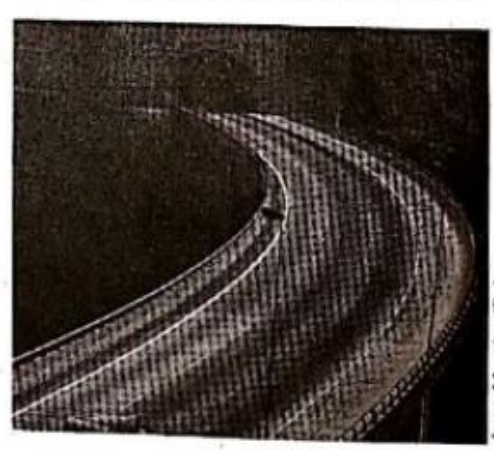
Como os catalisadores reduzem o custo de um processo industrial, na medida em que aceleram a obtenção de um dado produto, são muitas vezes mantidos em segredo pela indústria que os utiliza.

Apesar de mecanismos de catálise não serem sempre esclarecidos, sabemos que os catalisadores representam uma alternativa para que a reação aconteça segundo um caminho cuja energia de ativação seja mais baixa.

De acordo com a analogia que fizemos para introduzir o conceito de Energia de Ativação, o catalisador funcionaria como um túnel. Isto é, ele nos permite partir de um local e chegar a um outro em menor espaço de tempo, graças à simplificação do trajeto. Com o túnel que corta uma montanha, não precisamos subi-la para depois descê-la, o que de qualquer forma não interfere no ponto de partida e de chegada, já que a montanha faz parte somente do percurso.



E_a — energia de ativação sem catalisador
 E'_a — energia de ativação com catalisador



Juca Martins/Pulsar

Fonte: LDA-1 Editora Atual, p. 202