

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Ariane Suelen Freitas Silva

As estratégias de ensino utilizadas por dois professores de química para auxiliar no desenvolvimento de habilidades de visualização e representação molecular.

Belo Horizonte

2018

ARIANE SUELEN FREITAS SILVA

As estratégias de ensino utilizadas por dois professores de química para auxiliar no desenvolvimento de habilidades de visualização e representação molecular.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação, Conhecimento e Inclusão Social da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação.

Linha de pesquisa: Educação e Ciências

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fleury Mortimer.

Belo Horizonte

2018

S586e Silva, Ariane Suelen Freitas

T

As estratégias de ensino utilizadas por dois professores de química para auxiliar no desenvolvimento de habilidades de visualização e representação molecular [manuscrito] / Ariane Suelen Freitas Silva. - Belo Horizonte, 2018.

149 f., enc. : il

Dissertação - (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.

Orientador: Eduardo Fleury Mortimer.

Bibliografia: f. 145-148.

Apêndice: f. 149.

1. Química – Teses. 2. Professores de Química – Teses. 3. Ensino de Química – Teses. 4. Prática pedagógica – Teses. 5. Representação molecular – Teses. 6. Ensino – Meios auxiliares – Teses.

I. Título. II. Mortimer, Eduardo Fleury. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.

CDD- 540.7

Catálogo da Fonte : Biblioteca da FaE/UFMG

Dedico este trabalho a minha mãe Elza (em memória).

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade da vida e ao espiritismo por me auxiliar a ser um ser humano melhor.

À minha família, por me amar e vibrar para que este trabalho se concretizasse.

Ao meu orientador Eduardo Mortimer, que muito me ensinou nesse percurso acadêmico desde o final de minha graduação e por acreditar no meu potencial enquanto pesquisadora do ensino de química.

Aos professores que abriram as portas da sala de aula onde trabalhavam para que eu pudesse desenvolver minha pesquisa.

Ao grupo de pesquisa por proporcionar vivências de aprendizado na pesquisa em ensino de química. Especialmente os bolsistas do grupo pela disposição em me ajudar com as filmagens e transcrições.

Aos professores que tive a honra de conhecer no mestrado. Podem ter certeza que há um pouquinho de cada um nas entrelinhas desta dissertação, vocês contribuíram muito para a estruturação deste trabalho e para o meu desenvolvimento como pesquisadora.

Aos colegas e amigos mestrados que tive a honra de conhecer e conviver.

Ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação da UFMG, por proporcionar um ensino de qualidade.

Agradeço aos professores que fizeram parte da minha banca avaliadora, Marcelo Giordan e Ana Luiza de Quadros. Suas sugestões e críticas muito contribuíram para este trabalho.

À minha chefe e amiga Bruna Caldeira por compreender os momentos de tensão que me encontrava e considerar minhas solicitações de alteração nos meus horários de trabalho.

Ao amigo Leandro por seguir comigo de mãos dadas até o final da escrita da dissertação.

Aos meus amigos que me acompanharam de longe, mas que vibravam pela minha vitória nesta etapa da vida.

RESUMO

Neste trabalho analisamos as estratégias utilizadas por professores de Química, para auxiliar no desenvolvimento das habilidades de visualização e representação molecular pelos estudantes. Além disso, investigamos, por meio da análise das entrevistas com os professores, aspectos da trajetória profissional que influenciaram suas práticas, delineando a performance atual deles. Baseamo-nos na Teoria da Ação Mediada proposta por Wertsch (1998) e suas propriedades: (i) tensão irreduzível entre o agente e o instrumento de mediação, (ii) os instrumentos de mediação são materiais e (iii) os instrumentos de mediação restringem e permitem a ação. Selecionamos um professor de Química Geral da UFMG e uma professora de Química de uma escola do Ensino Médio da rede particular de Santa Luzia. No desenvolvimento dessa pesquisa, descrevemos as estratégias utilizadas pelos professores, ao agirem com as ferramentas de visualização, para evidenciar como eles auxiliam os estudantes a desenvolver habilidades de visualização e representação molecular em suas aulas de Química. Para isso, construímos mapas de episódios, mapas de codificação do uso das ferramentas de visualização ao longo das aulas analisadas, gráficos de percentual de uso das ferramentas de visualização, entre outros. Com isso, foi possível descrever as aulas analisadas, categorizar as ferramentas de visualização utilizadas e identificar as estratégias que cada um dos professores utilizou em suas aulas para favorecer aos estudantes o desenvolvimento das habilidades mencionadas. Os resultados da pesquisa mostraram que os professores planejam como e quando as ferramentas de visualização serão utilizadas em suas aulas. Portanto, a ordem em que elas aparecem é um fator essencial para alcançar os objetivos propostos pelos professores, mesmo que elas se apresentem como idiossincráticas. Constatamos que as ferramentas de visualização apresentam potencialidades próprias, restringindo ou permitindo a ação dos professores. Devido a essa propriedade da Ação Mediada, foi possível perceber a complementaridade no uso das diferentes ferramentas de visualização nas aulas dos professores analisados. Percebemos que várias estratégias poderiam possibilitar o desenvolvimento das habilidades de visualização molecular e/ou representação molecular. Algumas estratégias foram coincidentes para os professores. Esse fato pode indicar que potencialidades dessas ferramentas de visualização pode levar os professores a criar estratégias semelhantes para diminuir essas limitações. Percebemos que as ações dos professores em sala de aula, evidenciam a tensão irreduzível entre o(a) professor(a) e as ferramentas de visualização. Acreditamos que os resultados deste trabalho trazem contribuições para a área do ensino de química por apresentar resultados significativos sobre as estratégias utilizadas por professores de química, de dois níveis de ensino, para ensinar conteúdos relacionados com o conceito molécula, tendo em vista o engajamento dos estudantes e o desenvolvimento de habilidades.

Palavras-chave: Ferramentas de visualização, habilidade de visualização molecular, habilidade de representação molecular, ensino de química.

ABSTRACT

In this work we analyze the strategies used by chemistry teachers to assist in the development of visualization skills and molecular representation by students. In addition, we investigated, through the analysis of interviews with teachers, aspects of the professional trajectory that influenced their practices, outlining their current performance. We rely on the Mediated Action Theory proposed by Wertsch (1998) and their properties: (i) irreducible tension between the agent and the mediation instrument, (ii) the mediation instruments are material, and (iii) the mediation instruments restrict and allow action. We selected a professor of General Chemistry at UFMG and a professor of chemistry at a high school in the private system of Santa Luzia. In the development of this research, we describe the strategies used by teachers, when acting with visualization tools, to evidence how they help students develop visualization and molecular representation skills in their Chemistry classes. To do this, we constructed episodic maps, coding maps of the use of visualization tools throughout the classes analyzed, graphs of percentage of use of visualization tools, among others. With this, it was possible to describe the analyzed classes, to categorize the visualization tools used and to identify the strategies that each of the teachers used in their classes to favor the students the development of the mentioned skills. The research results showed that teachers plan how and when the visualization tools will be used in their classrooms. Therefore, the order in which they appear is an essential factor in achieving the objectives proposed by teachers, even if they appear as idiosyncratic. We found that the visualization tools have their own potential, restricting or allowing the action of teachers. Due to this property of the Mediated Action, it was possible to perceive the complementarity in the use of the different visualization tools in the classes of the analyzed teachers. We realized that several strategies could allow the development of molecular visualization skills and / or molecular representation. Some strategies were coincidental for teachers. This fact may indicate that the potentialities of these visualization tools can lead teachers to create similar strategies to reduce these limitations. We perceive that the actions of teachers in the classroom, show the irreducible tension between the teacher and the visualization tools. We believe that the results of this work bring contributions to the area of chemistry teaching by presenting significant results on the strategies used by chemistry teachers, at two levels of teaching, to teach contents related to the molecule concept, with a view to engaging students and the development of skills.

Keywords: Tools visualization, molecular visualization skill, molecular representation skill, chemistry teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do diagrama dos níveis para desenvolver o conhecimento químico	17
Figura 2 - Equação de dissolução do sal de cozinha em água.	18
Figura 3 - Representação do Diagrama de Pauling.....	31
Figura 4 - Representação da distribuição eletrônica em subníveis em linha	31
Figura 5 - Diagrama de subcategorização dos Meios Mediacionais de materialidade permanente em meios que fazem uso de suporte material e objetos mediadores.....	32
Figura 6 - Gráfico nuvem de palavras para a mensagem de motivação aos docentes proferida pela professora Ariela.....	67
Figura 7 - Esquema de categorização das ferramentas de visualização usadas pela professora Ariela.	68
Figura 8 - Representação da estrutura de Lewis para a molécula do ácido fluorídrico.	69
Figura 9 - Representação do modelo molecular concreto para a molécula BF_3 que foi feito pelos estudantes na atividade proposta pela professora Ariela.....	69
Figura 10 - Representação das moléculas não reais (a) diatômicas e (b) triatômicas vistas pelo simulador PhET polaridade da molécula utilizado pela professora Ariela.	70
Figura 11 - Representação de moléculas reais (a) HF com a nuvem de densidade eletrônica, (b) O_3 com as cargas parciais e o vetor dipolar e (c) HCN e nuvem de potencial eletrostático, vistas com o simulador PhET polaridade da molécula utilizado pela prof. Ariela.....	71
Figura 12 - Representação da geometria do elétron para a molécula NH_3 vista pelo simulador PhET geometria molecular utilizada pela professora Ariela.	72
Figura 13 - Classificação das ferramentas de visualização utilizadas pela professora Ariela em termos de suas materialidades.....	73
Figura 14 - Esquema do mapa de episódios da aula 1 da professora Ariela.	74
Figura 15 - Esquema do mapa de episódios das aulas 2 e 3 da professora Ariela.	75
Figura 16 - Mapa de codificação das ferramentas de visualização da aula 1 da professora Ariela.	76
Figura 17 - Mapa de codificação das ferramentas de visualização da aula 2 da professora Ariela.	77
Figura 18 - Mapa de codificação das ferramentas de visualização da aula 3 da professora Ariela.	77
Figura 19 - Gráfico de percentual de uso das representações moleculares da aula 1 da professora Ariela.	78
Figura 20 - Gráfico de percentual de uso das representações moleculares (a) da aula 2 e (b) da aula 3 da professora Ariela.	78
Figura 21 - Mapa de densidade de codificação da aula 3 da professora Ariela.	80
Figura 22 - Esquema do mapa de sub-episódios referente ao episódio 5 da aula 3 da professora Ariela.	81
Figura 23 - Representação da sequência de transição das representações moleculares complementares feitas pela professora Ariela no episódio 5 da aula 3.....	82
Figura 24 - Gráfico nuvem de palavras para a mensagem de motivação aos docentes proferida pelo professor Paulo.....	86
Figura 25 - Esquema de categorização das ferramentas de visualização utilizadas pelo professor Paulo.	87
Figura 26 - Representação da estrutura de Lewis sem considerar a geometria da molécula de (a) metano/ CH_4 e (b) da amônia/ NH_3	88
Figura 27 - Representação da estrutura de Lewis considerando a geometria (a) em perspectiva 2D para a molécula ozônio (O_3) e (b) em perspectiva 3D para a molécula pentacloreto de fósforo (PCl_5).....	89
Figura 28 - Representação da molécula H_2O feita com o simulador Phet geometria molecular.	89
Figura 29 - Representação do modelo molecular concreto utilizado pelo professor Paulo.	90
Figura 30 - Classificação das ferramentas de visualização utilizadas pelo professor Paulo em termos de sua materialidade.	91
Figura 31 - Esquema do mapa de episódios da aula 1 do professor Paulo.	92
Figura 32 - Esquema do mapa de episódios da aula 2 do professor Paulo.	92
Figura 33 - Mapa de codificação das representações moleculares da aula 1 do professor Paulo.	94
Figura 34 - Mapa de codificação das representações moleculares da aula 2 do professor Paulo.	94

Figura 35 - Gráfico de percentual de uso das representações moleculares da aula 1 do professor Paulo.....	96
Figura 36 - Gráfico de percentual de uso das representações moleculares da aula 2 do professor Paulo.....	96
Figura 37 - Mapa de densidade de codificação das representações moleculares para a aula 1 do professor Paulo.	97
Figura 38 - Mapa de densidade de codificação das representações moleculares para a aula 2 do professor Paulo.	98
Figura 39 - Esquema do mapa de sub-episódios referente ao episódio 6 da aula 1 do professor Paulo.	99
Figura 40 - Representação da sequência de transição das representações moleculares complementares feitas pelo professor Paulo no episódio 6 da aula 1.	100
Figura 41 - Mapa de codificação referente ao episódio 7 da aula 3 da professora Ariela.	104
Figura 42 - Gráfico de percentual de uso das representações moleculares do episódio 7 da aula 3 da professora Ariela.....	105
Figura 43 - Representação da amônia por meio do MMC elaborado pelos estudantes na aula 3 da professora Ariela.....	106
Figura 44 - Professora Ariela ao comparar a estrutura da molécula tetracloreto de carbono com a estrutura da molécula amônia.....	107
Figura 45 - Professora Ariela ao a estrutura da molécula amônia por meio do modelo virtual.....	107
Figura 46 - Sequência de transição entre as representações moleculares complementares utilizadas no episódio 7 da aula 3 da professora Ariela.	109
Figura 47 - Estruturas tridimensionais, com e sem elétrons não ligantes, construídas pelos estudantes na aula 3 da professora Ariela.	110
Figura 48 - Representação das estruturas da molécula amônia, plana e tridimensional, construídas pelos estudantes na aula 3 da professora Ariela.....	110
Figura 49 - Manipulação do MV, molécula amônia, pela professora Ariela.....	111
Figura 50 - Análise, feita pela professora Ariela, da base das moléculas tetracloreto de carbono e amônia.....	112
Figura 51 - Representação da geometria molecular da amônia por meio do MMC construído na aula 3 da professora Ariela.	113
Figura 52 - Professora Ariela ao estabelecer a diferença nos ângulos de ligação da molécula CCl ₄ - (a) ângulo menor e (b) ângulo maior.	114
Figura 53 - Professora Ariela ao sobrepor o MMC ao MV para a molécula XeF ₂	115
Figura 54 Ações da professora Ariela e as habilidades de visualização e representação molecular.....	116
Figura 55 Mapa de codificação referente ao episódio 2 da aula 2 do professor Paulo.	117
Figura 56 - Gráfico de percentual de uso das ferramentas de visualização do episódio 2 da aula 2 do professor Paulo.....	118
Figura 57 - Representação das estruturas estáticas utilizadas na aula do professor Paulo: (a) fórmula molecular, (b) estrutura de Lewis sem considerar a geometria e estrutura de Lewis considerando a geometria perspectiva 3D com (c) par eletrônico livre localizado na região axial e (d) com o par eletrônico livre localizado na região equatorial.....	120
Figura 58 - Representação das estruturas dinâmicas utilizadas na aula do professor Paulo: modelo molecular concreto - molécula SF ₄ com par eletrônico livre localizado (a) na região axial e (b) na região equatorial; (c) geometria bipirâmide trigonal.	121
Figura 59 - Representação da estrutura dinâmica: modelo virtual - em que o professor explicita (a) a região axial da molécula PCI ₅ e (b) os ângulos de ligação para a molécula SF ₄	122
Figura 60 - Sequência de transição entre as representações moleculares complementares utilizadas no episódio 2 da aula 2 do professor Paulo.....	124
Figura 61 - Representação da ELSCG (a) desenhando os elétrons dos átomos terminais, (b) contando os pares de elétrons e (c) desenhando o par de elétrons livres do átomo central na aula 2 do professor Paulo.	125
Figura 62 - Representação do desenho virtual do orbital que o professor Paulo fez utilizando o MV.....	126
Figura 63 - Representação do desenho da ELCG 3D quando Paulo (a) desenhou os átomos terminais ligados ao átomo central, (b) verificou uma posição axial livre e (c) desenhou o par eletrônico isolado no átomo central na posição axial.....	127

Figura 64 - Representação da transição entre a estrutura de Lewis considerando a geometria perspectiva 3D e o modelo molecular concreto na aula 2 do professor Paulo.	128
Figura 65 - Aula 2 do professor Paulo - (a) Representação da molécula SF ₄ utilizando o MV e (b) Representação da sobreposição do MMC ao MV.....	129
Figura 66 - Representação da associação da geometria da molécula SF ₄ e a gangorra, na aula 2 do professor Paulo.....	130
Figura 67 - Representação da molécula SF ₄ com os ângulos de ligação (a) F axial-S-F equatorial e (b) F equatorial-S-F equatorial.	130
Figura 68 - Representação da indicação do ângulo de ligação pelo professor Paulo (a) F equatorial (b) S e (c) F equatorial.....	131
Figura 69 - Representação da distorção que Paulo faz do ângulo de ligação na molécula SF ₄ quando (a) par eletrônico livre na axial repele os pares de elétrons das ligações na posição equatorial, (b) par eletrônico livre na equatorial repele os pares de elétrons das ligações das ligações da equatorial e (c) par eletrônico livre na equatorial repele os pares de elétrons da ligação axial.	132
Figura 70 - Representação da geometria (a) gangorra - molécula SF ₄ e (b) bipirâmide de base quadrada na aula 2 do professor.....	132
Figura 71 - Ações do professor Paulo e as habilidades de visualização e representação molecular.....	134
Figura 72 - Representação da ELCG 3D, utilizada na aula do professor Paulo, para a molécula SF ₄ com o par eletrônico livre na posição equatorial representado (a) tridimensionalmente e (b) não tridimensionalmente; (c) distorção do ângulo de ligação do flúor da posição axial.	137
Figura 73 - Representação da sobreposição do MMC à ELCG 3D na aula 2 do professor Paulo.	137
Figura 74 - Representação da distorção do ângulo feito pelo professor Paulo ao responder uma dúvida relacionada à visualização.	138
Figura 75 - Representação da distorção do ângulo feita pelo professor Paulo ao responder uma dúvida relacionada à visualização.	139

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Dados relativos à formação e atuação profissional da professora Ariela analisada neste trabalho.	53
Tabela 2 - Dados relativos à formação e atuação profissional do professor Paulo analisado neste trabalho.....	54
Tabela 3 - Objetivo(s) de uso das ferramentas de visualização dinâmicas do episódio 7 da aula 3 da professora Ariela.....	106
Tabela 4 - Objetivo de uso das representações estáticas do episódio 2 da aula 2 do professor Paulo.	119
Tabela 5 - Objetivo de uso das representações dinâmicas.	121
Tabela 6 - Classificação das transições entre as representações moleculares.....	124
Tabela 7 - Classificação das perguntas dos estudantes e as ferramentas de visualização utilizadas pelo professor Paulo ao respondê-las.	135

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. A OPÇÃO PELO TEMA	17
2.1. As particularidades da Química: buscando entender a dificuldade em aprender essa ciência 17	
2.2. As questões de pesquisa	20
2.3. Objetivo.....	23
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
3.1. O ponto de partida	24
3.2. A perspectiva da ação mediada	27
3.3. As propriedades da Ação Mediada.....	29
3.3.1. A tensão irreduzível entre agentes e instrumentos de mediação	29
3.3.2. Os instrumentos de mediação são materiais.....	32
3.3.3. Os instrumentos de mediação restringem e permitem a ação.....	34
4. ALGUMAS CONTRIBUIÇÕES DA COMUNIDADE CIENTÍFICA DE PESQUISA NO ENSINO DE QUÍMICA	36
4.1. Sobre o termo visualização	36
4.2. Características gerais dos artigos	38
4.3. A eficácia dos modelos moleculares	40
4.3.1. Competência representacional e compreensão relacional	45
4.3.2. Modelagem molecular.....	47
4.3.3. Aspectos cognitivos dos sujeitos e o processo de aprendizagem	48
4.4. Alguns conceitos que nortearam esta pesquisa	50
5. OS CAMINHOS PERCORRIDOS NO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	52
5.1. A seleção e caracterização dos professores	53
5.2. A produção dos dados	55
5.2.1. O registro em vídeo e seleção das aulas	56
5.2.2. A entrevista	58
5.3. A metodologia de análise dos dados	59
5.3.1. A macroanálise.....	60
5.3.2. A microanálise.....	62
5.3.3. Análise da entrevista	62
6. UM PANORAMA DAS AULAS DA PROFESSORA ARIELA E DO PROFESSOR PAULO. 63	
6.1. AS ANÁLISES DAS AULAS DA PROFESSORA ARIELA.....	64
6.1.1. Caracterização da trajetória profissional	64
6.1.2. A macroanálise das aulas: a classificação das ferramentas de visualização.....	68
6.1.3. A macroanálise das aulas: apresentação do mapa de episódios	74
6.1.4. A macroanálise das aulas: apresentação dos mapas de codificação e dos gráficos percentuais de uso das ferramentas de visualização.....	76
6.1.5. A transição entre as representações moleculares utilizadas	80
6.2. AS ANÁLISES DAS AULAS DO PROFESSOR PAULO	83
6.3. A caracterização da trajetória acadêmica e profissional.....	83
6.3.1. A macroanálise das aulas: a classificação das ferramentas de visualização.....	87
6.3.2. A macroanálise das aulas: apresentação do mapa de episódios	91

6.3.3.	A macroanálise das aulas: apresentação dos mapas de codificação e os gráficos de percentual de uso das representações moleculares	94
6.3.4.	Transição entre as representações moleculares utilizadas	98
6.4.	Considerações Finais do Capítulo	101
7.	UM OLHAR MAIS ESPECÍFICO: A MICROANÁLISE DAS AULAS DA PROFESSORA ARIELA E DO PROFESSOR PAULO	103
7.1.	A microanálise: Uma análise das ações da professora Ariela ao agir com as diferentes ferramentas de visualização	103
7.1.1.	Aspectos gerais do episódio	104
7.1.2.	As limitações e possibilidades de uso das ferramentas de visualização utilizadas no episódio	105
7.1.3.	As estratégias de Ariela para estabelecer a sequência de transição das representações moleculares complementares e favorecer o desenvolvimento das habilidade de visualização e representação molecular	108
7.2.	A microanálise: Uma análise das ações do professor Paulo ao agir com as diferentes ferramentas de visualização	117
7.2.1.	Aspectos gerais do episódio	117
7.2.2.	As limitações e possibilidades de uso das representações moleculares utilizadas no episódio	119
7.2.3.	As estratégias de Paulo para estabelecer a sequência de transição das representações moleculares complementares e favorecer o desenvolvimento das habilidade de visualização e representação molecular	123
7.2.4.	Análise das ações do professor ao responder as dúvidas dos estudantes	134
7.3.	Considerações Finais do Capítulo	140
8.	CONCLUSÕES DA PESQUISA	142
	REFERÊNCIAS	146
	APÊNDICE	150

1. INTRODUÇÃO

A sala de aula é um espaço propício para que ocorra a produção de novos significados, resultado da interação entre os sujeitos que fazem parte desse cenário, professor(a) com os estudantes e estudantes com estudantes. Essa interação é mediada pela fala, imagens, objetos, entre outros. Por meio dessas relações sociais, o estudante entra em contato com o conhecimento socialmente compartilhado no âmbito público, e passa então a produzir novas significações em um processo de internalização que ocorre no nível privado.

Diante disso, o papel do professor como um agente social de transformação é muito importante. É ele quem planeja como será a dinâmica da sala de aula que, por sua vez, indicará as possibilidades de socialização do conhecimento. Por isso, o ato de ensinar exige que o professor(a) mobilize diversos saberes, o que caracteriza um processo complexo.

O processo de ensino está vinculado ao processo de aprendizagem e, no contexto do ensino de química, percebemos que a aprendizagem está associada a compreensão da relação entre as entidades ontológicas que compõe essa ciência (átomos, moléculas, entre outros) e os fenômenos do mundo real. Nesse sentido a química difere das outras ciências por tratar de fenômenos em que as explicações se dão em um nível além do que se pode “ver”.

Lima e Barboza (2005) relatam a importância de pensar sobre duas velhas e pertinentes questões “por que ensinar Química?” e “para quem ensinar?”. Elas destacam que o ensino de química faz parte de uma formação para a vida e que aprender ciências, no caso, a química, envolve compreender como essa ciência foi construída ao longo da história e como o conhecimento produzido interfere nas nossas vidas.

Além de pensar no “por que ensinar?” e “para quem ensinar?”, se faz necessário pensar em “como ensinar?”. A dimensão do como ensinar faz com que o(a) professor(a) busque estratégias para alcançar o objetivo fim de suas aulas, a aprendizagem dos estudantes. Essas estratégias que os professores utilizam vem das relações sociais que esses sujeitos tiveram no decorrer de seu percurso profissional, tanto pela experiência em ministrar aulas quanto pelo exemplo de outros professores. A ideia da imitação ainda é muito forte, ou seja, o professor de hoje se espelhou em seus professores que lhe afetaram de alguma forma durante sua vida escolar.

Pensando nisso, nós entendemos que os professores do Ensino Superior tem grande importância nesse processo por fazerem parte da formação de novos professores. Portanto, consideramos que esse nível de ensino precisa ser explorado e estudado pelos pesquisadores do ensino. Em contrapartida, os professores do Ensino Médio desempenham um papel singular por serem os responsáveis por apresentar, explicitamente, a química como um campo de saber para os estudantes. Temos notícias de jovens que ingressaram no Ensino Superior, para cursar algum curso que tenha como eixo principal a química, por terem sido estimulados e encantados por seus professores de química.

Com base nesse contexto, a pesquisa que desenvolvemos e relatamos neste trabalho investiga as aulas de Química desses dois níveis de ensino. Nós objetivamos caracterizar os tipos de representações moleculares que os professores utilizam em suas aulas, bem como estudar suas estratégias para favorecer a produção de significados e o desenvolvimento de habilidades pelos estudantes. Para isso, selecionamos um professor(a) de cada nível de ensino, Ensino Médio e Ensino Superior, que mobilizasse em suas aulas vários recursos didáticos e que estivesse disposto a participar da pesquisa. A partir da filmagem das aulas pudemos identificar os tipos de representações moleculares e as estratégias utilizadas por eles.

Para atingir os objetivos traçados, desenvolvemos e estruturamos nossa pesquisa em sete capítulos além desse. No capítulo 2, “A opção pelo tema”, destacamos o lugar no qual a pesquisadora fala e justificamos a escolha do tema da pesquisa. Nele apresentamos nosso problema de pesquisa, justificamos algumas opções que fizemos para desenvolver este trabalho, enunciamos nossas questões de pesquisa e apresentamos nossos objetivos.

No capítulo 3, “Referencial teórico”, apresentamos as contribuições da teoria de Vigotski para este trabalho. Destacamos a perspectiva socio-histórica e cultural, base para a compreensão dessa teoria, e discutimos sobre os conceitos centrais na obra de Vygotsky. Além disso, abordamos outros conceitos fundamentais para nossas análises trazidos por Werstch (1998).

No capítulo 4, “Algumas contribuições da comunidade científica de pesquisa no ensino de química”, apresentamos as ideias dos trabalhos sobre visualização molecular publicados nos principais periódicos internacionais. Além da utilização de textos publicados

em revistas brasileiras. Essa revisão foi importante para a construção do conceito habilidade de visualização e habilidade de representação molecular que utilizaremos em nossas análises.

A descrição da metodologia da pesquisa aparece no capítulo 5 que foi intitulado “Os caminhos percorridos no desenvolvimento da pesquisa”. Na primeira parte deste capítulo explicamos como foi a seleção dos professores, sobre a filmagem das aulas e a entrevista com os sujeitos da pesquisa. Na segunda parte, explicamos como foram feitas as análises dos dados produzidos.

No capítulo 6, intitulado “Um panorama das aulas da professora Ariela e do professor Paulo”, apresentamos aspectos da trajetória profissional dos professores que podem ter contribuído para sua performance em sala de aula, identificamos e caracterizamos os tipos de recursos utilizados nas aulas analisadas e traçamos um panorama dessas aulas. Denominamos todo esse processo de macroanálise.

No capítulo 7, “Um olhar mais específico: a microanálise das aulas da professora Ariela e do professor Paulo”, realizamos uma análise minuciosa de um fragmento de aula de cada um dos professores. Destacamos os aspectos gerais desse fragmento, os limites e possibilidades dos recursos e as estratégias de ensino utilizados pelos professores. Denominamos esse processo de microanálise.

Por fim, no capítulo 8, intitulado “Conclusões da pesquisa”, apontamos as conclusões que chegamos com essa pesquisa e respondemos as questões que deram origem a este trabalho. Destacamos as possíveis contribuições para área do ensino de química, mais especificamente para a área de formação de professores.

2. A OPÇÃO PELO TEMA

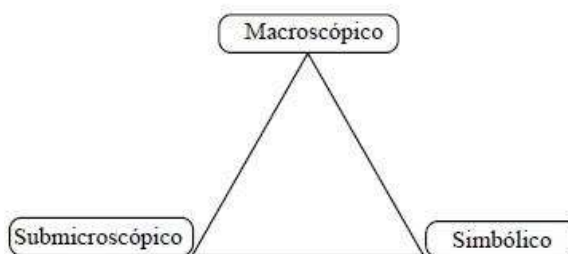
Em primeiro lugar, eu gostaria de especificar o lugar de onde falo. Sou professora de química do Ensino Médio na rede estadual e particular e tive uma breve experiência como professora do Ensino Superior na Universidade Federal de Viçosa - Campus Florestal. A partir de 2013, quando ainda estava na graduação, tive a oportunidade de participar de um grupo de pesquisa sobre o ensino de ciências. A partir dessas vivências, tenho percebido a dificuldade de compreensão da química pelos estudantes dos diferentes níveis de ensino e como é necessário mobilizar vários recursos para favorecer o seu entendimento sobre essa ciência.

Com o intuito de justificar a opção pelo tema e explicitar os nossos objetivos com essa pesquisa dividimos este capítulo em: (i) as particularidades da Química: buscando entender a dificuldade em aprender essa ciência, (ii) as questões de pesquisa e (iii) objetivos.

2.1. As particularidades da Química: buscando entender a dificuldade em aprender essa ciência

A Química é uma ciência que apresenta uma linguagem simbólica própria para explicar fenômenos. Como a Química trata de entidades que não fazem parte do cotidiano dos estudantes, como os átomos, moléculas, íons, entre outros, eles podem apresentar dificuldades para assimilar conceitos dessa natureza. Johnstone (1991, 2000) discute sobre a dificuldade em se aprender ciências e em especial aprender química. O autor define três níveis para desenvolver o conhecimento químico em sala de aula (Figura 1): “(i) macroscópico e tangível - o que pode ser visto, tocado e cheirado (ii) submicroscópico - átomos, moléculas, íons, estruturas e (iii) simbólico - símbolos, fórmulas, equações, manipulação matemática e gráficos” (JOHNSTONE, 2000, p.11).

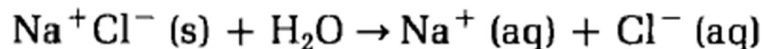
Figura 1 - Representação do diagrama dos níveis para desenvolver o conhecimento químico



Fonte: Adaptado de Johnstone, 1991.

Pensando em uma possível organização para uma aula de química, Johnstone (1991) apresentou como exemplo uma aula sobre a dissolução do sal de cozinha em água, um fenômeno tangível (macro) e visível para os estudantes. Então, após trazer o fenômeno para a sala de aula, o professor pode explicar as teorias por trás desse fenômeno (submicro), explanando sobre o rompimento do retículo cristalino, as energias de ligação entre os íons que compõem o sal de cozinha e a atração desses íons pelas moléculas de água. Em algum momento o professor apresenta a simbologia da química (simbólico) para representar esse fenômeno (Figura 2):

Figura 2 - Equação de dissolução do sal de cozinha em água.



Fonte: Johnstone (1991), p. 78.

Analisando esse contexto, o próprio autor destaca que “quase em uma respiração, o professor percorre o diagrama, mas o estudante pode estar “encalhado” no nível macroscópico” (JOHNSTONE, 1991, p.78). Na busca de diminuir as lacunas entre o que é ensinado e o que é aprendido nas aulas de química, Johnstone (2000), com base em suas pesquisas no Reino Unido, argumenta que a inserção simultânea dos três níveis da química pode resultar em uma sobrecarga para o estudante que, ao tentar processar as informações desses três níveis, pode não encontrar conexões entre eles e ainda resultar em concepções alternativas.

Parece que um possível caminho indicado pelo autor para melhorar o processo de ensino e aprendizagem é tornar o processo o mais tangível (macro) possível para os estudantes e aos poucos introduzir os outros níveis da química que são tão importantes para o entendimento dessa ciência. Embora o nível macro seja importante para aproximar o fenômeno químico da realidade dos estudantes, Johnstone (2000) ressalta, nas belas palavras do trecho a seguir, que os outros níveis do triângulo são essenciais para compreender a química.

“Mas a química, para ser mais bem compreendida, tem que passar para a situação submicro onde o comportamento das substâncias é interpretado em termos do invisível e molecular e gravado em alguma linguagem e notação representacional. Esta é ao mesmo tempo a força do nosso assunto como uma busca intelectual, e a fraqueza de nosso

assunto quando tentamos ensiná-lo, ou mais importante, quando iniciantes (estudantes) tentam aprender.” (JOHNSTONE, 2000, p.11)

Mortimer, Machado e Romanelli (2000) redimensionam esses níveis, no contexto do ensino de química brasileiro, como “aspectos do conhecimento químico”: fenomenológico, teórico e representacional. Eles destacam que o aspecto fenomenológico vai além daqueles que podem ser reproduzidos em laboratório e, portanto, é preciso considerar os fenômenos materializados na atividade social (atividades no supermercado ou posto de gasolina). A ideia é que o estudante possa estabelecer relação entre a química, a sociedade e o ambiente. O aspecto teórico está relacionado com as explicações sobre o universo atômico-molecular, por exemplo, as explicações sobre dissolução de um sal ou reações de neutralização. O aspecto representacional está associado a natureza simbólica da linguagem química, “como fórmulas, equações químicas, representações dos modelos, gráficos e equações matemáticas” (MORTIMER, MACHADO e ROMANELLI, 2000, p.277).

Os três aspectos da química estão intimamente relacionados e creio ser consenso entre os pesquisadores sobre o ensino de química a necessidade da transição entre eles. Mortimer, Machado e Romanelli (2000) salientam que,

“A maioria dos currículos tradicionais e dos livros didáticos, enfatiza sobremaneira o aspecto representacional, em detrimento dos outros dois. A ausência dos fenômenos nas salas de aula pode fazer com que os alunos tomem por “reais” as fórmulas das substâncias, as equações químicas e os modelos para a matéria. É necessário, portanto, que os três aspectos compareçam igualmente. A produção de conhecimento em Química resulta sempre de uma dialética entre teoria e experimento, pensamento e realidade. Mesmo porque não existe uma atividade experimental sem uma possibilidade de interpretação.” (MORTIMER, MACHADO e ROMANELLI, 2000, p. 277)

Nessa perspectiva, os autores destacam a importância de estabelecer uma tensão entre a teoria e o experimento, revisitando constantemente esses dois aspectos e, aos poucos, trazer o aspecto representacional para representar a compreensão do estudante, sobre a teoria e o experimento, por meio da linguagem química.

Acreditamos que, para que ocorra essa transição entre os níveis da química, o estudante precisa se apropriar dos níveis submicroscópico e simbólico. Tendo em vista a abstração e a dificuldade em se aprender química, vários pesquisadores do ensino de química buscam aproximar o nível submicroscópico dos estudantes por meio da utilização de algum tipo de representação para as entidades químicas ou para a integração entre eles, sejam

modelos concretos, modelos virtuais, figuras ou desenhos. Entendemos que, ao consolidar a compreensão dos estudantes sobre o nível submicroscópico, por meio do nível simbólico, eles poderão se apropriar de novos conceitos, por exemplo, propriedades físicas, ligações químicas, interações intermoleculares; e relacioná-los com os fenômenos do mundo real – nível macroscópico.

2.2. As questões de pesquisa

Como dito anteriormente, desde 2013, participo de um grupo de pesquisa com foco principal nos professores de ciências (química, física e biologia) do Ensino Superior. Desde então, tenho participado de discussões e feito pesquisas principalmente sobre esse nível de ensino. Nosso grupo de pesquisa se dedicou à investigação da multimodalidade - análise de gestos, características prosódicas da fala - entonação, intensidade e velocidade de fala - olhar e proxêmica (MORTIMER, MORO E PEREIRA, 2013; MORO et al., 2013). Além disso, o grupo se dedicou na investigação das relações pedagógicas que os professores do ensino superior (QUADROS, SILVA e MORTIMER, 2018) e médio (SILVA et al, 2016) fazem para conectar os conteúdos no tempo e explicitar relações entre conceitos/conteúdos trabalhados para auxiliar os estudantes na construção de significados. O grupo de pesquisa investigou também o uso de objetos mediadores no Ensino Superior (MORTIMER, SÁ e MORO, 2015; SILVA et al., 2017; OLIVEIRA, SÁ e MORTIMER, 2017). Apesar de alguns trabalhos tratarem as representações moleculares como parte da análise multimodal, geralmente em aulas de Química Orgânica (MORO et al., 2013, SILVA et al., 2017), sentimos a necessidade de explorar outros aspectos dessa temática, ainda com foco no professor.

As Instituições do Ensino Superior (IES) sofreram nos últimos anos expressiva expansão e novas instituições foram criadas. Como consequência disso, a oferta de cursos e o número de matrículas, nesse nível de ensino, também aumentaram. Para que esse fenômeno acontecesse, várias políticas públicas foram criadas com base na premissa do direito à educação. Podemos citar como principais políticas públicas o Fundo de Financiamento Estudantil (FIES), o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e expansão das Universidades Federais (REUNI) e o Programa Universidade para Todos (PROUNI).

O FIES foi criado em 1999 com o objetivo de fornecer subsídios financeiros, o financiamento estudantil, para os estudantes de baixa renda das IES privadas, tornando possível a conquista do diploma de graduação (MOURA, 2014).

O REUNI foi criado em 2007 e tem como diretrizes “(...) a redução da evasão, a revisão da estrutura acadêmica, a diversificação das modalidades de graduação, a articulação entre a graduação e a pós-graduação, bem como da graduação com a educação básica” (ARAÚJO e SANTOS, 2014, p. 643).

O PROUNI foi criado em 2004 e é definido por Moura (2014, p. 13) como sendo “um programa do Ministério da Educação, criado pelo Governo Federal, que oferece bolsas de estudos em instituições de educação superior privadas, em cursos de graduação e sequenciais de formação específica, a estudantes brasileiros sem diploma de nível superior”.

Diante desse cenário, professores precisaram ser contratados tanto pelas instituições privadas quanto pelas públicas, de nível superior, e novas propostas de formação pedagógicas foram sendo implementadas. Esse fato alterou o perfil do corpo docente dessas instituições e o processo de formação dos estudantes universitários, o que nos faz entender a necessidade de investigações nesse nível de ensino. Além disso, Quadros (2010) salienta que,

“As instituições de Ensino Superior são responsáveis pela formação de professores para a educação básica. Apesar de a licenciatura ser a opção em termos de formação inicial do professor, vem sofrendo críticas consideráveis diante da limitada influência da mesma na constituição do profissional professor. No caso da formação de professores de Química, o debate em torno de uma formação de qualidade está presente na comunidade de educadores químicos. Parece já ser consenso a influência dos professores formadores na constituição do professor de Química da educação básica.” (QUADROS, 2010, p. 15)

Portanto, existe uma relação direta entre o nível superior e o nível médio de ensino. Para que o professor da educação básica seja formado com qualidade é necessário que o curso do Ensino Superior seja bom o suficiente para prepará-lo para tal fim. Conseqüentemente, espera-se que o professor formador de professores tenha uma boa performance em sala de aula. Essa relação, Ensino Superior e Ensino Médio, justifica as investigações também no nível médio, se considerarmos os sujeitos que formaram em instituições federais após implementação dessas políticas públicas. Por isso, optei por investigar professores desses dois níveis de ensino.

Diante disso, algumas perguntas me vieram à mente. A primeira delas **“Como os professores de química, do Ensino Médio e do Ensino Superior, ministram suas aulas para trabalhar aspectos do conceito molécula?”**. Para responder a essa pergunta, consideramos que devemos investigar sobre:

Quais tipos de representações moleculares são utilizadas nas aulas de Química quando eles tratam de conceitos que relacionam o termo moléculas?

Quais são as potencialidades e limitações dessas representações moleculares?

Como essas potencialidades e limitações são explicitadas pelos professores?

Quais são as dificuldades encontradas pelos professores ao optar pelo uso das representações moleculares em suas aulas?

A segunda pergunta é: **“Quais são as estratégias que os professores de química, do Ensino Médio e do Ensino Superior, utilizam para o desenvolvimento de habilidades que podem ajudar os estudantes na compreensão dos aspectos do conceito molécula?”**. Podemos subdividir essa pergunta em:

Como os professores agem com as representações moleculares?

Quais habilidades estão sendo trabalhadas pelos professores em suas aulas?

Quais ações favorecem o desenvolvimento de cada tipo de habilidade?

Como os(as) professores(as) transitam entre as diferentes representações moleculares?

Consideramos que todas as experiências vividas por uma pessoa modelam e influenciam na forma como ela age na sociedade, tanto na vida cotidiana quanto na vida profissional. Diante disso, podemos fazer ainda uma terceira pergunta, **“Quais aspectos da trajetória acadêmica e profissional dos professores influenciaram sua performance em sala de aula?”**. Mais precisamente:

Qual(is) aspecto(s) da formação acadêmica influenciaram na performance dos professores?

Qual(is) foi(ram) a(s) influência(s) das experiências profissionais dos professores em sua prática?

Nesse sentido, esta pesquisa se justifica tendo em vista a necessidade de compreendermos como os professores do Ensino Médio e Superior agem com as diferentes formas de representação molecular e entendermos a influência da trajetória acadêmica e profissional na performance desses professores.

2.3. Objetivo

Com base nos questionamentos que explicitamos, delineamos alguns objetivos para essa pesquisa. Portanto, intencionamos com este trabalho:

- descrever, analisar e categorizar as representações moleculares utilizadas pelos professores de Química, do Ensino Médio e Superior, em sala de aula;
- descrever e analisar as estratégias de ensino ou ações desses professores para favorecer a produção de significados e o desenvolvimento de habilidades pelos estudantes ao discutir aspectos do conceito molécula.

Desejamos trazer contribuições para a área de formação de professores no sentido de fomentar discussões acerca de possíveis estratégias de ensino envolvendo aspectos sobre o conceito molécula, por meio da utilização de representações moleculares, para tornar a aprendizagem mais significativa, tendo em vista o engajamento dos estudantes e o desenvolvimento de habilidades.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresentamos algumas contribuições de Vigotski para o contexto deste trabalho. Destacamos conceitos centrais para o entendimento da teoria sócio-histórica e cultural, importante para subsidiar as discussões dos resultados de nossa pesquisa. Além disso, apresentamos o conceito da teoria da Ação Mediada e suas propriedades, propostas por Wertsch (1998), com base principalmente nos conceitos-chave de Vigotski, de Burke (1969) *apud* Wertsch et al. (1995), que delimitou os elementos pentádicos da ação dramática, e de Gibson (1986), ao apresentar as *affordances* (traduzimos como potencialidades) associadas à ação.

No sentido de organizar os conceitos de nossos referenciais teóricos optamos por dividir o capítulo em: (i) o ponto de partida, (ii) a noção de Ação Mediada e (iii) as propriedades da Ação Mediada.

3.1. O ponto de partida

A teoria de Vigotski é constituída de pontos-chave necessários para a sua compreensão. Para esse autor, o biológico, o cultural e o social são aspectos necessários para a compreensão do ser humano. O biológico está relacionado com as condições biológicas do indivíduo, que estão em constante desenvolvimento, ou seja, é algo natural. De acordo com Sirgado (2000), o termo história é primordial para a compreensão do cultural e social na obra de Vigotski. “É o caráter histórico que diferencia a concepção de desenvolvimento humano de Vigotski das outras concepções psicológicas e lhe confere um valor inovador ainda nos dias de hoje” (SIRGADO, 2000, p.48). Simplificadamente, podemos dizer que Vigotski se refere à história humana, no contexto do materialismo histórico, em um sentido de compreender os acontecimentos que formam essa história – resultado da atividade humana (SIRGADO, 2000).

Vigotski defendia o que foi denominado de análise genética. Para ele os “aspectos dos processos psicológicos do ser humano só podem ser entendidos considerando-se a forma e o momento de sua intervenção no curso do desenvolvimento”. (WERTSCH, 1988, p.35) Segundo a teoria de Vigotski, o desenvolvimento poderia ser analisado em diversos aspectos, Wertsch denomina esses aspectos de “domínios genéticos”: filogênese, história sociocultural, ontogênese e microgênese.

A filogênese considera o desenvolvimento biológico da espécie humana com base nos princípios evolutivos darwinianos. Como Vigotski não considerava nenhuma sobreposição entre os domínios genéticos, em algum momento a cultura apareceu e deu lugar a outro domínio genético. O domínio história sociocultural está associado à organização e às atividades sociais, momento no qual surgem as funções mentais superiores, que passam a ser desenvolvidas por meio da relação com o outro e mediada por ferramentas culturais. A ontogênese, domínio no qual Vigotski se debruçou com mais afinco, está relacionada a uma linha “natural” e uma linha “cultural” ou “social” que atuam simultaneamente e se inter-relacionam no processo de desenvolvimento. A microgênese envolve análises a um curto prazo de (i) formação de um certo processo psicológico de um sujeito ao buscar repetidas vezes solucionar uma certa tarefa ou (ii) a descoberta de um ato individual perceptivo ou conceitual que pode durar milissegundos (WERTSCH, 1988).

Portanto, segundo a teoria de Vigotski, o homem é um ser social e cultural. Ressaltamos que “nem tudo o que é social é cultural, mas tudo o que é cultural é social” (SIRGADO, 2000, p. 53). Podemos citar como exemplo as famílias no mundo: elas são semelhantes em relação à sua constituição, vivem em um determinado espaço, porém as significações que fazem dessa instituição são diferentes para cada cultura. Traduzindo essa ideia em outras palavras:

“o social é, ao mesmo tempo, condição e resultado do aparecimento da cultura. É condição porque sem essa sociabilidade natural a sociabilidade humana seria historicamente impossível e a emergência da cultura seria impensável. É, porém, resultado porque as formas humanas de sociabilidade são produções do homem, portanto obras culturais.” (SIRGADO, 2000, p. 53)

Nas relações sociais e por meio da exposição à cultura, a pessoa se desenvolve como um ser social. “As relações sociais convertem-se em funções mentais superiores” (SIRGADO, 2000, p. 53). Podemos dizer que as funções elementares ou biológicas, que estão associadas ao pensamento pré-linguístico, discurso pré-intelectual (sem sentido), memória associativa, formas básicas de atenção, entre outros; são desenvolvidas para funções mentais superiores ou culturais, que estão associadas ao pensamento linguístico, discurso intelectual, memória lógica, atenção voluntária, entre outros.

Vigotski (1978), *apud* Wertsch (1988), apresenta uma pesquisa comparativa da memória humana e distingue a memória natural dos outros tipos de memória. A memória natural está muito próxima da percepção porque, nesse caso, os seres humanos sofrem

influência direta dos estímulos externos do ambiente. Os outros tipos de memória estão além dos limites da simples percepção causada pela natureza, exemplos como o uso de nós para lembrar de algo ou o início da escrita. Ou seja, o uso de signos, marca esse desenvolvimento devido a organização elaborada pelo comportamento cultural. Podemos dizer que, para esse segundo tipo de memória, existe uma auto-estimulação, enquanto que para o primeiro o estímulo vem do ambiente.

Nesse contexto, o sujeito tem consciência de que está consciente e que utilizou um meio mediacional para auxiliar sua memória ou outra função mental (BAKHURST, 2007). Essa consciência é denominada por Vigotski intelectualização, ou consciência da consciência, e é acompanhada por outra característica básica das funções mentais superiores, o controle voluntário. A mediação é, então, o fator diferenciador entre as funções mentais elementares e superiores. Segundo Bakhurst (2007, p.53) a intelectualização e o controle voluntário “permitem ao ser humano dominar e controlar suas próprias funções mentais”.

O processo de “conversão” das relações sociais em funções mentais superiores foi denominado por Vigotski e outros autores como um processo de internalização. Segundo Bakhurst (2007), a internalização na concepção de Vigotski não é uma simples conversão das relações sociais para um plano interno porque esse processo envolve uma ressignificação pelo indivíduo singular no ato da internalização. Esse processo é “uma lei geral do desenvolvimento das funções psíquicas superiores, que surgem inicialmente como formas de atividade em colaboração e só depois são transferidas pela criança para o campo de suas formas psicológicas de atividade” (Vigotski, 2010, p. 429).

Entendemos que Vigotski, ao falar do desenvolvimento das funções mentais superiores, queria dizer que a partir das relações do indivíduo com o outro, ou seja, as relações sociais, o indivíduo internaliza o que lhe afeta. Sirgado (2000) complementa essa ideia dizendo que

“Nessa linha de raciocínio, podemos então dizer que as funções psicológicas são a conversão, na esfera privada, da significação que as posições sociais têm na esfera pública. O que nos conduz a afirmar que as funções psicológicas constituem a projeção na esfera privada (plano da pessoa ou da subjetividade) do drama das relações sociais em que cada um está inserido. Ou, em outros termos, as funções psicológicas são função da significação que as múltiplas relações sociais tem para cada um dos envolvidos nelas, com todas as contradições e conflitos que elas envolvem em determinadas condições sociais.” (SIRGADO, 2000, p. 72)

Podemos considerar que, no contexto da sala de aula, o professor e os estudantes, como elementos centrais dessa dinâmica, constroem juntos uma cultura. A relação que se estabelece entre eles possibilita produções de significados importantes para o desenvolvimento dos sujeitos envolvidos. Ainda sobre o processo de ensino e aprendizagem,

A psicologia sócio-histórica, que tem como base os estudos de Vygotsky, concebe o desenvolvimento humano a partir das relações sociais que o sujeito estabelece no decorrer da vida. Neste referencial, o processo de ensino-aprendizagem se constitui por meio das interações que acontecem nos diversos contextos sociais, ou seja, o aprendiz constrói significados por meio das interações entre os sujeitos ali presentes. Os significados são, portanto, construções históricas e sociais e se referem aos conteúdos apropriados pelos sujeitos a partir de suas próprias subjetividades. (Quadros, p.42, 2010)

Para Vigotski, o desenvolvimento se dá por meio do processo de internalização como dissemos anteriormente. Essa ideia foi repensada por vários autores, incluindo Wertsch (1998), que trazem outra perspectiva: a “apropriação”. Isto significa que as pessoas povoam de significados a mediação semiótica do seu contexto, em um processo ativo, interativo e particular. Então, o contexto da sala de aula é um ambiente propício para que ocorra a apropriação do conhecimento por parte dos estudantes.

3.2. A perspectiva da ação mediada

Outro conceito central na obra de Vigotski é a “mediação semiótica”. De acordo com Pino (1991, p.33) “a mediação do sistema de signos constitui a mediação semiótica”. Nesse sentido, a mediação semiótica está relacionada com a produção de significados das transformações do mundo físico e social. Os seres humanos, por meio dos signos, como exemplo, a palavra, transformam o mundo e suas relações sociais, desenvolvendo novas funções mentais superiores.

Wertsch et al. (1995), explica o termo mediação em um sentido mais amplo. Os autores consideram três aspectos principais, eles afirmam que a mediação: (i) é um processo ativo, (ii) que a introdução de novas ferramentas culturais faz com que transformações aconteçam e (iii) a mediação, por um lado, traz limitações, e por outro, permite a ação. No sentido de compreender o que seria essa mediação para esses autores, faz-se necessário conhecer suas ideias sobre a noção de ação, visto que as ferramentas culturais têm o papel de mediar a ação humana.

Na busca dessa noção sobre ação, Wertsch et al. (1995) apresentam a noção de ação de Burke (1969) *apud* Wertsch et al. (1995), na perspectiva da ação dramática. Burke destaca o quinteto dramático: ato (quando um agente, em cena, age com um propósito), cena (ambiente onde o agente age, contém o ato), agente (sujeito), agência (meio pelo qual o agente age, instrumentos) e propósito (o objetivo da agência). Quando pensamos nas interações que acontecem na sala de aula, podemos dizer que o ato seria a dinâmica da aula; a cena, a sala de aula com todos os seus elementos materiais devidamente dispostos nesse ambiente; agente, poderia ser considerado o professor e/ou os estudantes; agência, as inscrições feitas no quadro ou caderno, o próprio quadro e o caderno, a fala, etc.; e o propósito seria ensinar e aprender algum conteúdo específico.

Primeiramente, a mediação é um processo ativo. O termo ativo como adjetivo indica “que exerce ação” ou “que age”, o que significa dizer que a mediação está associada a ação e os sujeitos são quem realizam a ação utilizando um instrumento de mediação. Nesse sentido, os instrumentos de mediação desempenham um papel importante e modelam a ação quando são usados, porém, se analisados isoladamente, percebemos que são impotentes para fazer qualquer coisa.

Em segundo lugar, os autores afirmam que a introdução de uma nova ferramenta cultural inevitavelmente transforma a mediação (WERTSCH et al., 1995). Quando novos instrumentos de mediação entram em jogo, o fluxo e a estruturação das funções mentais são alterados. Por exemplo, há alguns anos atrás a linguagem escrita era expressa somente de forma manual, com a utilização de uma espécie de caneta e papel. Com o desenvolvimento da tecnologia, foi possível escrever utilizando máquinas de datilografia por meio do acionamento mecânico das teclas. As duas formas de escrita mobilizam funções mentais distintas.

O terceiro ponto destacado por Wertsch et al. (1995) é o fato de que a mediação traz limitações e permissões de ação. Ou seja, mesmo que um instrumento de mediação supere limitações de outro instrumento, ele, por si só, apresentará suas limitações próprias.

Tendo em vista esses aspectos da mediação e considerando que um universo grande de ações é mediado por algum instrumento de mediação, Wertsch (1998) apresenta a noção de “Ação Mediada”. Fazendo uma relação com a noção de ação trazida por Burke, os elementos agente e agência estariam em foco na análise. O autor argumenta que focar nessa dialética agente-instrumento pode superar as limitações do individualismo metodológico. Ele

ressalta, também, que as análises da ação mediada podem fornecer outras dimensões importantes sobre os elementos pentádicos de Burke, como o ato, a cena e o propósito. Além disso, a ação mediada pode ser considerada uma unidade de análise na perspectiva sociocultural.

3.3. As propriedades da Ação Mediada

Para delinear e caracterizar a Ação Mediada, Wertsch (1998) descreve dez propriedades. Para este trabalho destacamos três delas, que se apresentam como mais importantes para as discussões dos dados que se seguem, a saber: (1) ação mediada caracteriza-se por uma tensão irreduzível entre agentes e instrumentos de mediação; (2) instrumentos de mediação são materiais e (3) instrumentos de mediação limitam e permitem uma ação. A seguir, descrevemos cada uma dessas propriedades:

3.3.1. A tensão irreduzível entre agentes e instrumentos de mediação

Como dissemos anteriormente, a Ação Mediada centra-se nos dois elementos pentádicos de Burke, o agente e a agência (instrumentos de mediação), e obviamente, essa ideia permeia as outras propriedades em algum grau. Por isso, consideramos a tensão irreduzível como a principal propriedade da Ação Mediada.

Segundo Wertsch (1998), na perspectiva da Ação Mediada, o foco de análise está na interação entre o agente e os instrumentos de mediação. Portanto, formam uma unidade de análise. Segundo o autor, a análise isolada desses elementos, sem considerar que eles são dependentes da ação, pode comprometer o fenômeno sob observação. Nesse sentido, podemos dizer que, para que a ação ocorra, os dois elementos precisam estar em jogo.

Tendo em vista essa concepção, a ideia de agente passa por uma reformulação. Ao invés de considerar o agente como o único responsável pela ação, passamos a considerar algo como "agente-agindo-com-instrumentos-mediacionais" (WERTSCH, TULVISTE, & HAGSTROM, 1993 *apud* WERTSCH, 1998).

Com o intuito de ilustrar a tensão irreduzível, Wertsch (1998) apresenta o exemplo do esporte salto em altura com vara. Nesse contexto, não é possível conceber a ação (saltar) analisando isoladamente cada elemento, seja o instrumento de mediação (vara) ou o agente (atleta). Ou seja, a vara por si só não fornece condições do atleta ser arremessado sobre uma barra transversal. Além disso, o atleta precisa desenvolver habilidades para manuseá-la e

saltar. Ao passo que um agente sem experiência ou com uma vara considerada inadequada possivelmente não teria sucesso caso participasse da competição. Se o agente estivesse sem a vara ele não poderia participar da competição. Ressaltamos que a ideia não é considerar o sistema como um todo indiferenciado, e sim, caracterizá-lo pela tensão dinâmica entre os elementos envolvidos. (WERTSCH, 1998)

Outra ilustração trazida por Wertsch (1998), que é pertinente para essa discussão, é o problema de multiplicação com números não triviais. Por exemplo, quando solicitado a resolver o problema:

$$437$$
$$\times 379$$

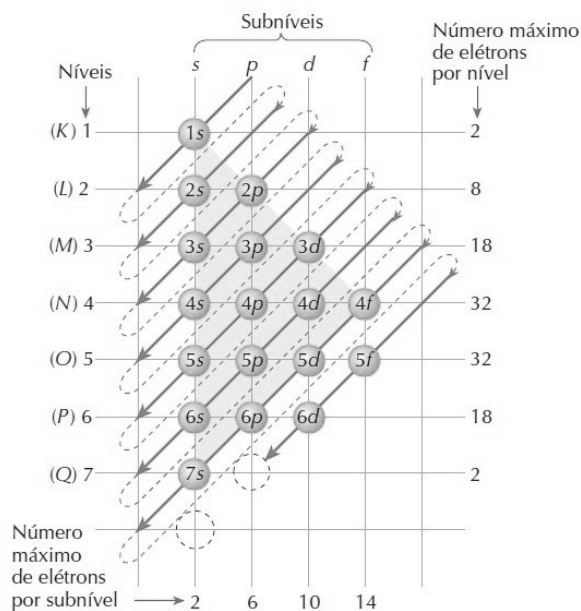
No caso, o agente poderia operar com o algoritmo da multiplicação ocidental, que aprendeu na escola, e chegaria a resposta 165.623. Porém, quando solicita-se apenas que multiplique 437 por 379 sem colocá-los na matriz vertical e usar esse algoritmo, seria impossível a sua resolução pela grande maioria das pessoas. Podemos dizer que o algoritmo da multiplicação funciona como instrumento de mediação para que o agente consiga resolver o problema matemático, o que significa dizer que, sem esse instrumento, a ação de multiplicar se torna impossível de acontecer.

Portanto, é razoável pensar que existe uma tensão entre o agente e o instrumento de mediação. No caso do salto com vara foi utilizada uma “ferramenta técnica”, ao passo que, no exemplo da multiplicação, foi utilizada uma “ferramenta psicológica” como designado por Vigotski (1987) apud Wertsch (1998). Lembrando que a vara ou o algoritmo de multiplicação por si só são impotentes para fazer qualquer coisa. Os instrumentos de mediação modelam a ação somente quando são utilizados pelo agente.

Ao aproximar essas ideias da dinâmica da sala de aula, percebemos que os professores de química utilizam diversos instrumentos de mediação, por exemplo o modelo molecular concreto, para atingir seus objetivos. Uma outra ilustração pode ser explicitada. Imagine que estudantes de química do ensino médio, que iniciaram os estudos sobre a distribuição eletrônica em subníveis de energia, são convidados a fazer a distribuição dos

elétrons, de acordo com o Diagrama de Pauling¹ (Figura 3). Eles precisarão mobilizar ferramentas necessárias para a resolução da tarefa. Suponhamos que a tarefa seja fazer a distribuição eletrônica do elemento ouro (símbolo Au e apresenta 79 elétrons) utilizando como suporte a estruturação do chamado Diagrama de Pauling. Com o auxílio das setas de energia e sabendo a quantidade de elétrons que cada subnível comporta, ele irá resolver a tarefa.

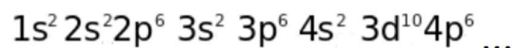
Figura 3 - Representação do Diagrama de Pauling



Fonte: Feltre, 2004.

Quando solicitado que ele execute a mesma tarefa, porém sem o auxílio da organização energética trazida pelo diagrama, por exemplo, colocar os subníveis em uma linha (Figura 4), o estudante poderá ter dificuldade para resolver o problema.

Figura 4 - Representação da distribuição eletrônica em subníveis em linha



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

¹ Consiste em representar a distribuição eletrônica em ordem crescente de níveis de energia, segundo a orientação das setas.

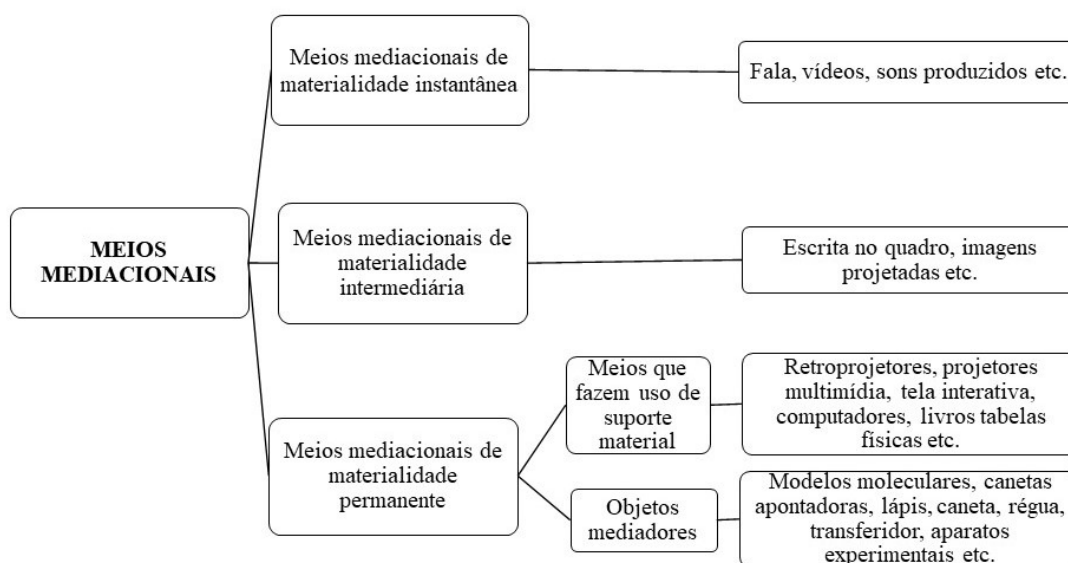
3.3.2. Os instrumentos de mediação são materiais

Os estudos de Vigotski centraram-se principalmente na utilização da fala como um instrumento de mediação. Porém ele mencionou outros sistemas de signos tais como: escrita, técnicas mnemônicas, sistemas de contagem, esquemas, diagramas, desenhos etc.

Wertsch (1998) afirma que todos os instrumentos de mediação possuem uma propriedade denominada materialidade. Ele diz que alguns instrumentos continuam a existir mesmo quando um ser humano não está utilizando-o, como os mapas, desenhos mecânicos, tabela periódica ou um modelo molecular concreto. Em contrapartida, a linguagem falada, aparentemente imaterial, deixa de existir após sua emissão pelos sujeitos, mas a materialidade está presente.

Considerando a possibilidade de alguns instrumentos serem manipulados pelo agente, ou seja, seu caráter objetual quando introduzidos na ação, alguns autores (MORTIMER et al., 2015; SILVA, et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017) denominam esses instrumentos de “objetos mediadores”. Com base na materialidade dos instrumentos de mediação, Oliveira (2018) criou algumas categorias que estão explicitadas na Figura 5 a seguir:

Figura 5 - Diagrama de subcategorização dos Meios Mediacionais de materialidade permanente em meios que fazem uso de suporte material e objetos mediadores.



Segundo essa categorização, a materialidade pode ser instantânea (fala), intermediária (inscrições no quadro) ou permanente (modelo molecular concreto)². O que nos faz refletir sobre a possibilidade da coexistência de instrumentos de mediação com tipos de materialidade diferentes no contexto da sala de aula. Por exemplo, um determinado professor pode utilizar a escrita no quadro, a projeção de imagens e o modelo molecular concreto em uma mesma aula.

A pesquisa feita por Oliveira (2018) teve como foco as análises dos instrumentos que considerou de materialidade permanente. Ele justifica o foco nos objetos mediadores e meios que fazem uso de suportes materiais devido ao contexto de realização da pesquisa e o tempo que tinha disponível para realizá-la, visto que se tratava de uma pesquisa de mestrado. Ele reconhece que é necessário aprofundar as análises voltando o olhar para os outros meios mediacionais. Sobre os meios mediacionais de materialidade instantânea, como a fala, citado por ele, encontramos algumas pesquisas no âmbito da Química do Ensino Superior (MORTIMER, MORO E PEREIRA, 2013; MORO et al., 2013; SÁ et al., 2015). Em contrapartida, os meios mediacionais de materialidade intermediária, no qual consideramos que a maior parte de nossas análises se enquadram, são pouco discutidos nos trabalhos acadêmicos na perspectiva das ações dos professores de química (MORO et al., 2013, GIORDAN et al., 2015). Acreditamos que é nesse sentido que nossa pesquisa pode contribuir para a área do ensino de química.

Considerando essa propriedade da materialidade, é importante salientar que o uso desses instrumentos de mediação resulta em alterações no agente. Dessa forma, Wertsch (1998) destaca a ideia das habilidades relacionadas ao uso de determinados instrumentos. O desenvolvimento dessas habilidades envolve agir com as propriedades inerentes daquele instrumento. Podemos associar a noção de habilidade com a ação de digitar utilizando o teclado do computador. Uma pessoa se torna hábil na digitação após interagir com o computador/teclado (objeto) por tempo suficiente para dominar os desafios que ele apresenta.

No contexto do ensino de química, os estudantes precisam desenvolver algumas habilidades para compreenderem a Química em suas especificidades. Por exemplo, na química orgânica os estudantes precisam desenhar as moléculas e conseqüentemente saber

² Essa categorização condiz com a realidade das aulas que analisamos. Dependendo da ação do(a) professor(a) essas categorias podem sofrer alteração.

interpretar os desenhos estruturais dessas moléculas para prever alguma propriedade daquela substância, como a solubilidade. Portanto, essa discussão será importante para as nossas análises.

3.3.3. Os instrumentos de mediação restringem e permitem a ação

Ao falar sobre as habilidades no item anterior nós especificamos que cada instrumento de mediação apresenta particularidades próprias. Wertsch (1998) considera que essas particularidades podem restringir e ao mesmo tempo permitir a ação mediada.

Para descrever essa propriedade, Wertsch (1998) utiliza o conceito de *affordances* de Gibson (1986), que como dissemos anteriormente, traduzimos como potencialidades. O conceito de *affordances* foi criado por Gibson para se referir às possibilidades de ação oferecidas pelo ambiente a um agente particular. Desse modo, as *affordances* podem ser entendidas como as possibilidades de ação no ambiente captadas pela percepção do agente. Segundo ele, a percepção visual que temos do ambiente serve ao comportamento e o comportamento é controlado pela nossa percepção (GIBSON, 1986, p. 223). Em outras palavras, as *affordances* do ambiente são o que o ambiente oferece ao agente e um ambiente diferente apresenta *affordances* diferentes.

As *affordances* ou potencialidades são consideradas como algo que tanto potencializa a ação quanto a limita. Para este trabalho denominamos o potencial positivo dos instrumentos de mediação como “possibilidades” e o potencial negativo dos instrumentos de mediação como “limitações”.

Quando se pensa em limitações impostas por ferramentas culturais, a tendência é fazer comparações entre a nova ferramenta e as precedentes, identificando assim as limitações das ferramentas mais antigas. Em muitos casos percebemos que é isso o que acontece. Por exemplo, com o progresso tecnológico, surgiram instrumentos com possibilidades superiores em relação aos instrumentos precedentes. Podemos citar, como exemplo, a comparação entre o computador atual e uma máquina de escrever. Porém esse fenômeno nem sempre é justificado pelo avanço tecnológico. O que precisamos ter em vista é que esse novo instrumento de mediação também apresenta suas próprias limitações e é dependente dos propósitos do agente na ação.

No ambiente escolar podemos perceber que há alguns anos os professores tinham a sua disposição o quadro e as possibilidades de inscrição, além da fala. Atualmente, vários outros instrumentos foram inseridos nesse contexto, por exemplo o projetor multimídia, que apresenta suas próprias *affordances*.

Diante do exposto neste capítulo, acreditamos que as propriedades da Ação Mediada proposta por Wertsch (1998), baseado nos elementos pentádicos de Burke e nas *affordances* de Gibson, podem nos auxiliar nas análises da ação dos professores quando estes agem com instrumentos de mediação.

4. ALGUMAS CONTRIBUIÇÕES DA COMUNIDADE CIENTÍFICA DE PESQUISA NO ENSINO DE QUÍMICA

As relações que os sujeitos estabelecem no mundo são mediadas por ferramentas culturais ou instrumentos de mediação. Cada comunidade apresenta suas próprias especificidades, resultado do seu contexto histórico e cultural próprio. No contexto do ensino de química, percebemos a construção e utilização dos instrumentos de mediação, ao longo de sua história, para auxiliar o processo de ensino e de aprendizagem da química. Nesse sentido, é fundamental que analisemos, além das interações com os materiais, como os professores e estudantes realizam as ações na sala de aula (GIORDAN e GÓIS, 2005) ao agirem com essas ferramentas. Neste capítulo, discutimos aspectos sobre as diferentes formas de representação molecular que são meios mediacionais no ensino de química.

Nosso objetivo com este capítulo é apresentar algumas contribuições da comunidade científica de pesquisas sobre o ensino de química indicando, em linhas gerais, o que tem sido produzido em pesquisas empíricas acerca da visualização. As discussões desses artigos contribuíram para a estruturação dos conceitos que utilizamos nesta pesquisa.

4.1. Sobre o termo visualização

Tendo em vista as ideias do diagrama, trazido inicialmente por Johnstone (1991) que estabelece três níveis para desenvolver o conhecimento químico (macroscópico, submicroscópico e simbólico), percebeu-se a grande dificuldade de compreensão e expressão oral e escrita dos estudantes sobre o nível submicroscópico (SILVA, 2007). Nesse sentido, pesquisas sobre visualização tem recebido grande importância para o ensino de química.

O conceito visualização é complexo e pode ser apresentado em diversas perspectivas. Para Briggs e Bodner (2005, p.61) “a visualização é uma operação que produz uma correspondência entre uma representação mental e a ideia, objeto ou evento para que se refere (o chamado referente – objetos físicos por exemplo)”. O que corrobora os estudos de Gilbert et al. (2009, p.2) no qual eles salientam que “a visualização está relacionada com a formação de uma representação interna (a produção mental) a partir de uma representação externa (imagens, diagramas, tabelas etc.) de tal modo que a natureza e a relação temporal/espacial entre as entidades que a compõem são retidas”. Em contrapartida, Talanquer (2011) faz considerações mais abrangentes sobre o conceito visualização. O autor considera que a visualização “engloba os sinais visuais estáticos e dinâmicos (de símbolos à ícones),

desenvolvidos para facilitar o pensamento qualitativo e quantitativo na comunicação sobre experiências e modelos teóricos em química” (TALANQUER, 2011, p.187). Ele destaca ainda que as visualizações se referem aos símbolos e fórmulas químicas, desenhos de partículas, equações, gráficos, animações, simulações, modelos concretos, etc., que são usados para representar partes que compõem as teorias da química.

Nossa ideia sobre o conceito visualização se aproxima daquele apresentado por Talanquer (2011). Nesse sentido, denominaremos, neste trabalho, os meios mediacionais utilizados para representações moleculares (ou iônicas), por exemplo, a fórmula molecular, estrutura de Lewis, modelos moleculares concretos e simulações sobre moléculas ou de compostos iônicos, como ferramentas de visualização (GIORDAN e GÓIS, 2005; DORI e KABERMAN, 2012; entre outros autores).

O termo visualização aparece muitas vezes relacionado com aquilo que se entende como “modelos mentais”. Para Gilbert et al. (2009) os modelos, em uma perspectiva mais geral, são produtos de ações mentais dos seres humanos para compreender a complexidade do mundo de forma fragmentada. Já o modelo mental é “uma representação privada e pessoal formada por um indivíduo isoladamente” (GILBERT, 2005, p. 12). Embora apresentamos simplifcadamente a noção de modelo mental e, sem querer aprofundar as discussões sobre esse conceito, destacamos mais uma vez que nosso trabalho se baseia na perspectiva sociocultural. Nesse sentido, consideramos o processo de apropriação do conhecimento (WERTSCH, 1998) que foi baseado no processo de internalização e externalização trazidos por Vigotski em diversos de seus escritos.

Os modelos podem ser representados em modos, tais como, “concreto”, “verbal”, “simbólico”, “visual”, “virtual” e “gestual” (Gilbert et al., 2009). Destacamos três modelos de nosso interesse, o modelo concreto (modelo bola-vareta ou modelo molecular concreto), o modelo simbólico (fórmulas moleculares) e o modelo virtual (animações e simulações). Esses modelos são criados e utilizados no ensino de química para auxiliar os estudantes a compreenderem o nível submicroscópico por meio do nível simbólico. Dessa forma, consideramos que a utilização dos modelos destacados pode ajudar o estudante a desenvolver habilidades que favoreçam a visualização das entidades submicroscópicas da química e, conseqüentemente, expressá-los de forma mais coerente com a química escolar.

Um tipo muito importante de ferramenta que auxilia a visualização de entidades próprias da química são as simulações. Alguns autores (WILLIAMSON e JOSÉ, 2008) conceituam simulações como animações interativas. Porém, para facilitar a diferenciação de um e outro utilizamos apenas a denominação “simulações”. Giordan e Góis (2005) tornam evidente as diferenças entre ambas, simulação e animação, da seguinte forma:

Animações computacionais são geradas a partir de aplicativos gerais de edição gráfica, sem necessariamente incluir valores empíricos de propriedades das substâncias ou das transformações obtidos em pesquisa científica, e intencionalmente enfatizam determinadas características superficiais macroscópicas ou microscópicas sem obedecer escalas de tempo ou tamanho. Já as simulações computacionais são geradas a partir de aplicativos específicos para estudo de propriedades de substâncias e transformações químicas, e estão intimamente relacionados ao ambiente de pesquisa científica. Para realizar estas simulações são utilizados valores teóricos ou empíricos de propriedades químicas, como ângulos e distâncias de ligações, e as escalas de tempo e tamanho são parametrizadas em equações matemáticas que satisfazem as leis físicas que descrevem os fenômenos. (GIORDAN e GÓIS, 2005, p.46)

A principal diferença entre a simulação e a animação é que a primeira possui um forte caráter de flexibilidade devido a várias possibilidades, por exemplo, botões para visualizar diferentes partes de um processo, o que a torna mais interativa do que a segunda (SILVA, 2007).

4.2. Características gerais dos artigos

Ao fazermos as leituras dos artigos que compuseram a revisão da literatura, percebemos que se tratam de relatos de pesquisas em que foram utilizados *Workshops*³ ou Intervenções Instrucionais⁴, ou seja, aplicação de Unidades Didáticas, de médio a longo prazo, para alcançar o objetivo das pesquisas. Nesses *Workshops* e Intervenções Instrucionais eram considerados a utilização de alguma ferramenta de visualização molecular e/ou íons, sejam os modelos estáticos (diagramas, figuras, desenhos etc.) ou dinâmicos (modelos virtuais) como uma estratégia de ensino para trabalhar conceitos químicos. O público-alvo das pesquisas normalmente se constituía de estudantes, com idade entre 14 a 17 anos ou

³ Os *workshops* são cursos de formação oferecidos para estudantes ou professores dentro das instituições de ensino.

⁴ As Intervenções Instrucionais são aquelas aplicadas no contexto escolar como parte do currículo.

estudantes de graduação. Somente um artigo analisado contemplou pesquisa com professores de química da educação básica e superior (WILLIAMSON e JOSÉ, 2008).

De acordo com a leitura dos textos, não conseguimos identificar qual seria a classificação, dinâmica ou estática, para o modelo molecular concreto. Para este trabalho, consideramos que esta ferramenta de visualização pode ser caracterizada como um modelo dinâmico, visto que, por meio das ações dos sujeitos, a representação molecular pode ser girada, as ligações podem ser movidas ou distorcidas. Porém, os autores consideram explicitamente, apenas os modelos virtuais como modelos dinâmicos.

De modo simplificado, podemos destacar os caminhos metodológicos principais dessas pesquisas. O primeiro: identificar a compreensão dos sujeitos sobre a natureza particular da matéria associada a algum conceito químico, por exemplo, reação química. O segundo: submeter o grupo experimental a *Workshops* ou Unidades Instrucionais diferenciadas, ou seja, que contemplassem a utilização de ferramentas de visualização, de modo a comparar os resultados com as concepções iniciais desses sujeitos e/ou com grupos de controle. Para isso, foram utilizados pré e pós-testes para avaliar a diferença na compreensão dos sujeitos antes e após workshop ou a Unidade Instrucional.

Esses *Workshops* e Unidades Instrucionais têm sido utilizados como apoio ao ensino de química por meio do uso de modelos concretos (STIEFF et al., 2015); modelos simbólicos, como ilustrações e desenhos (JABER e BOUJAOUDE, 2012); e uso de modelos virtuais, como simulações e animações (TASKER e DALTON, 2006; WILLIAMSON e JOSÉ, 2008; VENKATARAMAN, 2008; CHANG, QUINTANA e KRAJCIK, 2010; DORI e KABERMAN, 2012; CHIU e LINN, 2014; KELLY, 2014). Outros autores utilizaram modelos concretos e virtuais (COOPER et al., 2012) ou a vídeo demonstração, para trazer aspectos do nível macroscópico, associado com animações (VELÁZQUEZ-MARCANO et al., 2004) ou ainda compararam o uso dos modelos virtuais com os de modelos simbólicos projetados (ARDAC e AKAYGUN, 2005).

Observamos que a maior parte dos artigos centram-se no uso de modelos virtuais, o que pode ser uma evidência de que, nos últimos tempos, o modelo molecular concreto, tão difundido no ensino de química, esteja cedendo espaço para os modelos virtuais (TERUYA et al., 2013). Podemos dizer que o avanço tecnológico favoreceu a criação dessas ferramentas de

visualização virtuais, o que tem permitido uma melhora qualitativa na aprendizagem dos estudantes por causa das *affordances* que possuem (KELLY, 2014).

Percebemos que os artigos explicitam ideias em termos dos modelos mentais dos estudantes/professores como sendo o ponto de partida para compreensão dos conceitos. Além desse aspecto, percebemos que os artigos podem ser classificados, considerando suas principais características, nas seguintes linhas: (i) competência representacional (STIEFF et al., 2015), (ii) compreensão relacional (JABER e BOUJAOUDE, 2012), (iii) modelagem molecular (VENKATARAMAN, 2008; WILLIAMSON e JOSÉ, 2008; CHANG, QUINTANA e KRAJCIK, 2010 e DORI e KABERMAN, 2012) e (iv) aspectos cognitivos dos sujeitos e o processo de aprendizagem (TASKER e DALTON, 2006 e KELLY, 2014). Alguns artigos voltam sua atenção para verificar especificamente a eficácia das ferramentas de visualização dinâmicas e/ou estáticas (VELÁZQUEZ-MARCANO et al., 2004; ARDAC e AKAYGUN, 2005; COOPER et al., 2012; CHIU e LINN, 2014 e STIEFF et al., 2015).

A seguir, apresentamos as principais discussões trazidas nos artigos. Com o intuito de organizar e sistematizar esse tópico. Para isso, faremos a seguinte divisão: (i) a eficácia dos diferentes tipos de modelos moleculares; (ii) competência representacional e compreensão relacional; (iii) modelagem molecular e; (iv) aspectos cognitivos dos sujeitos e o processo de aprendizagem.

4.3. A eficácia dos modelos moleculares

Atualmente, existe consenso, para os envolvidos com a área do ensino de química, de que o uso de modelos para ensinar química é essencial. “Os modelos podem funcionar como uma ponte entre a teoria científica e o mundo vivenciado (...)” (Gilbert, 2005, p. 11). Uns dos interesses ao se discutir sobre os modelos moleculares é investigar qual deles seria o mais eficaz no processo de ensino e aprendizagem.

Dentre os artigos pesquisados, observamos que alguns autores defendem o uso dos modelos moleculares concretos, outros enfatizam o domínio dos modelos dinâmicos sobre os modelos estáticos. Há ainda outros autores que acreditam na integração do uso das ferramentas de ensino para promover uma aprendizagem efetiva.

Stieff et al. (2015) pesquisaram os efeitos do uso do modelo molecular concreto na habilidade representacional dos estudantes do curso introdutório de química orgânica. Eles

esclarecem que os modelos concretos possuem *affordances* próprias para o desenvolvimento da competência representacional pelo fato de representarem as estruturas moleculares de forma concreta e tridimensional, permitindo que o estudante execute, fisicamente, as transformações espaciais (STIEFF et al., 2015).

Nesse estudo, esses autores elaboraram uma Intervenção Instrucional, baseando-se no uso de modelos moleculares concretos, para relacionar as representações moleculares e níveis de energia no estudo da estereoquímica. Os resultados indicaram que o uso de modelos concretos foi essencial para o ensino da estereoquímica e para que os estudantes compreendessem a transição entre as formas de representação das moléculas na projeção de Fischer⁵, projeção de Newman⁶, fórmula de traço-cunha⁷ ou modelo espaço-preenchido que comumente aparecem em livros didáticos (STIEFF et al., 2015).

Dessa forma, podemos dizer que o uso de modelos moleculares concretos foi favorável ao desenvolvimento de habilidades de representação molecular para aquele contexto específico, no caso, ensino da estereoquímica. Por isso, podemos inferir que existem momentos mais adequados para a utilização dos modelos moleculares concretos e que deve ser considerado o fato de que, esses modelos, apresentam rigidez e seu uso se restringe a moléculas pequenas (Barnea e Dori, 1999).

Alguns autores (ARDAC e AKAYGUN, 2005; TASKER e DALTON, 2006, CHIU e LINN, 2014, VELÁZQUEZ-MARCANO et al., 2004) afirmam que o uso das ferramentas de visualização dinâmicas (modelos virtuais) tem sido favorecido pelas práticas educativas atuais, em oposição à utilização de ilustrações estáticas, porque eles conferem dinamicidade às representações. Williamson e José (2008) corroboram essa ideia e explicitam que alguns pesquisadores acreditam que utilizar modelos estáticos pode contribuir para a criação, pelos estudantes, de modelos estáticos, o que seria inadequado.

⁵ A projeção de Fischer é uma representação bidimensional de uma molécula orgânica que se apresenta tridimensional. A tradução de uma representação em outra ocorre por projeção.

⁶ A projeção de Newman é uma representação no qual a ligação carbono-carbono se apresenta na linha de visão do observador e são representados por círculos coincidentes. As ligações com os substituintes são representadas por traços. As ligações do carbono frontal partem do centro do círculo (carbono) e ultrapassam os limites do círculo. As ligações do carbono posterior se iniciam no limite do círculo.

⁷ A fórmula de traço-cunha é uma representação bidimensional, embora apresente uma perspectiva tridimensional. Nessa representação o traço representa as ligações que estão no plano e a cunha representa a ligação que está saindo do plano (cunha cheia) ou entrando no plano (cunha tracejada).

Chiu e Linn (2014) descrevem um estudo que utiliza ferramentas de visualização dinâmicas para melhorar a compreensão do tema reações químicas. Para os autores, esse tema é central na química e seu entendimento serve de pré-requisito para outros conteúdos da disciplina, como estequiometria e equilíbrio químico. Os resultados da pesquisa indicaram que os estudantes submetidos a Unidade Instrucional que contemplava o uso das ferramentas de visualizações dinâmicas conseguiram relacionar as representações e os conceitos, como a conservação de massa, mais adequadamente, quando comparados ao grupo submetido à instrução tradicional.

A pesquisa de Ardac e Akaygun (2005) traz outras contribuições para a área do ensino de química quando comparado com as contribuições de Chiu e Linn (2014). Os pesquisadores aplicaram sequências de ensino sobre transformações físicas da matéria, baseadas em modelos dinâmicos para um grupo experimental e modelos estáticos para o grupo controle. Esses grupos eram compostos por uma classe inteira. Feito isso, eles aplicaram e avaliaram a sequência baseada em modelos dinâmicos para os estudantes, individualmente. Os resultados indicaram que os estudantes de classe inteira desenvolveram habilidades visuais e conceituais quando participaram das atividades, por exemplo, as de construção de modelos e tradução da fórmula química para a fórmula estrutural. Porém, os estudantes que receberam a instrução individualmente tiveram um ganho qualitativo ainda maior. Além disso, os resultados mostraram que o uso de ferramentas de visualização dinâmicas auxilia os estudantes a criarem seus modelos mentais mais próximos dos modelos aceitos pela química escolar.

Contudo, Tasker e Dalton (2014) salientam que o ensino mediado por ferramentas de visualização dinâmicas, dependendo das características da atividade proposta, pode não ser eficaz. Eles apontam que apenas a simples exposição dos estudantes às animações por exemplo, não é suficiente para promover o progresso na aprendizagem dos estudantes. Essas discussões podem indicar que se faz necessário que o professor faça um planejamento adequado de suas aulas para que o uso de uma ferramenta de visualização dinâmica seja efetivo. Nesse sentido, o professor pode, em suas aulas, explicitar as possibilidades e limitações dos recursos didáticos utilizados, de modo a guiar a atenção dos estudantes para as possibilidades que os recursos trazem. Além disso, é necessário integrar as concepções prévias dos estudantes aos conteúdos trabalhados (TASKER e DALTON, 2006).

Em outra perspectiva, Velázquez-Marcano et al. (2004) relatam que a utilização de apenas uma ferramenta de aprendizagem, no caso, a vídeo-demonstração ou a animação, não foi suficiente para obter sucesso na qualidade das explicações dos estudantes. De acordo com a pesquisa, alguns estudantes desenvolveram concepções alternativas ao assistirem somente as vídeos-demonstrações e que as animações os auxiliaram a formular explicações sobre os fenômenos mais coerentes com a química escolar. O contrário também foi verificado, ou seja, o uso inicial das animações, seguido das vídeos-demonstrações, auxiliaram os estudantes na elaboração de respostas mais precisas. Nesse sentido, os autores destacaram que as vídeos-demonstrações (nível macroscópico), conjugadas com o uso das animações (que representam entidades do nível submicroscópico), em sala de aula, são importantes ferramentas de visualização para o ensino de química. A ordem em que serão inseridas na sala de aula não foi um fator relevante para essa pesquisa (VELÁZQUEZ-MARCANO et al., 2004). Portanto, esse estudo nos fornece indícios de que a associação das ferramentas de ensino pode ser uma alternativa para que elas se tornem recursos didáticos valiosos no processo de aprendizagem de química.

Destacamos os estudos de Cooper et al. (2012) que também apostam em uma abordagem onde há uma associação entre as ferramentas de visualização, modelos moleculares concretos e virtuais. No artigo, os autores salientam que apenas mudar a forma como se ensina pode não ser suficiente, pois precisa ser considerada também uma mudança no currículo das instituições de ensino. Esses autores apresentam o desenvolvimento e a avaliação da progressão da aprendizagem dos estudantes, relacionando as estruturas moleculares, suas representações e a capacidade de prever as propriedades macroscópicas. Cooper et al. (2012) utilizam um currículo introdutório de Química Geral, projetado para propiciar um entendimento aprofundado de alguns conceitos fundamentais da química, o Chemistry, Life, the Universe, and Everything (CLUE), que traduzimos como “Química, Vida, o Universo e Todas as coisas”. A sequência que os autores apresentaram no currículo CLUE, contempla sete etapas: 1) ligação entre os átomos e a energia envolvida; 2) propriedades dos materiais, como o diamante e o grafite; 3) introdução de estruturas tridimensionais de moléculas simples; 4) tradução de representações tridimensionais para estrutura de Lewis 2D; 5) tradução da estrutura de Lewis 2D para estrutura de Lewis 3D; 6) introdução de estruturas mais complexas e; 7) uso da estrutura de Lewis para prever as propriedades físicas e químicas. Esse estudo indicou que os estudantes que participaram do CLUE apresentaram um maior desenvolvimento da capacidade para desenhar estruturas de

Lewis quando comparado com estudantes que participaram de aulas do currículo tradicional. Além disso, os pesquisadores relataram que seus estudos indicaram que o principal resultado da aplicação do currículo CLUE foi a melhora das habilidades dos estudantes para desenhar estruturas complexas e inéditas para eles (COOPER et al., 2012).

O estudo de Cooper et al. (2012) se diferencia dos demais por considerar o currículo como fator preponderante para o progresso dos estudantes. Porém, não podemos deixar de destacar que o currículo CLUE mobiliza diferentes ferramentas de visualização para que esse progresso seja alcançado. Entendemos, então, que nesse caso o uso de uma ferramenta potencializa o resultado do uso da outra.

Giordan (2005) faz considerações interessantes com relação ao uso do computador no ensino de química. Ele salienta que o uso dos modelos virtuais pode ser mais adequado quando a intenção do professor é destinada a destacar alguma propriedade molecular, como os ângulos de ligação ou comprimento de ligação. E acrescenta afirmando que,

Uma decorrência importante da manipulação de diversas formas de representação é a possibilidade de conferir um efeito vinculante entre a variável, de natureza teórica, e a forma de representação da propriedade, de natureza imagética. A visualização de objetos moleculares mediada pelo computador parece, portanto, promover a vinculação entre a simulação de uma propriedade da molécula e sua representação em um mesmo meio. Esta é uma situação de alto valor didático capaz de mobilizar as ações dos alunos na manipulação do objeto, na elaboração discursiva e também na elaboração de significado. (GIORDAN, 2005, p. 290)

Ainda há muitas discussões necessárias sobre o assunto, porém, é preciso considerar que o contexto dos estudantes, o conteúdo, o tipo de aula que será ministrada (aula experimental ou teórica), entre outros fatores, deve influenciar na escolha de quais tipos de modelos serão mais adequados para serem utilizados na sala de aula. Acreditamos que o ideal seria utilizar o maior número possível de tipos de modelos para abranger várias possibilidades de visualização, explicações e interpretações da química. Alguns pesquisadores (VELÁZQUEZ-MARCANO et al., 2004; GIORDAN e GÓIS, 2005; COOPER et al., 2012, dentre outros pesquisadores) acreditam na ideia do uso simultâneo das representações para uma aprendizagem efetiva, fato que pode contribuir para o desenvolvimento de habilidades inerentes para compreensão da química pelos estudantes, de modo que se possa contemplar seus vários modos de pensar.

4.3.1. Competência representacional e compreensão relacional

Percebemos que vários artigos destacaram o termo habilidade como um critério para o sucesso dos estudantes na compreensão de conceitos da química, como reações químicas, equilíbrio químico ou cinética química. Algumas dessas habilidades estão relacionadas ao conceito da competência representacional, outras ao conceito compreensão relacional e outras ainda a habilidade espacial e modelagem. Discutimos essas duas últimas habilidades no próximo subtópico.

Kozma e Russel (2005) definem a competência representacional como sendo um conjunto de habilidades que possibilita que uma pessoa utilize reflexivamente uma ou mais ferramentas de visualização como modos de pensar, comunicar e agir sobre os fenômenos e processos químicos. Por sua vez, as habilidades que os estudantes precisam adquirir para desenvolver a competência representacional, depende da capacidade de: (i) usar as representações para descrever fenômenos químicos; (ii) criar ou escolher a representação mais adequada para uma situação específica; (iii) escrever ou falar sobre as características de uma representação e analisar padrões de recursos como as animações; (iv) descrever as *affordances* das diferentes representações; (v) compreender o papel epistemológico das representações; (vi) prever e inferir algo sobre os fenômenos químicos observáveis por meio das características das representações (KOZMA e RUSSEL, 2005).

Diante dessa perspectiva e concordando com ela, Stieff et al. (2015) argumentaram que a principal barreira para proporcionar o sucesso dos estudantes na química orgânica, disciplina considerada desafiadora, pode ser a competência representacional. Por isso, os autores apostaram em uma intervenção constituída de atividades que enfatizavam o uso do modelo molecular concreto para auxiliar os estudantes no desenvolvimento de habilidades relacionadas a interpretação de diagramas de energia bidimensionais, como aqueles feitos com a projeção de Newman. Além de auxiliar os estudantes na tradução de uma representação para outra ou de uma representação bidimensional para uma tridimensional, esse uso auxiliou na previsão do efeito das mudanças espaciais ocasionadas pelos giros característicos das moléculas (STIEFF et al., 2015).

Considerando que a química descreve vários fenômenos por meio do nível simbólico, é muito importante que o professor oportunize momentos para que os estudantes possam desenvolver a competência representacional nos espaços de aprendizagem da

instituição de ensino. Tanto as aulas de química do Ensino Superior quanto aquelas promovidas no Ensino Médio podem e devem optar por abordagens como essa.

Outros autores (JABER e BOUJAOUDE, 2012) se apoiam na ideia da compreensão relacional. A compreensão relacional está intimamente associada com a habilidade em transitar entre os diferentes níveis do pensamento químico, defendido por Jonhstone (1991, 2000), para a compreensão da química. Treagust et al. (2003), baseados em outros pesquisadores, destacam o nível da compreensão relacional. Eles esclarecem que esse nível de entendimento está relacionado com a aprendizagem efetiva, na qual o estudante tem a capacidade de saber como agir e o porquê está agindo, frente a alguma resolução de problemas da química. Para eles o esquema de conhecimento de um estudante seria vinculado e interligado. Nesse esquema de conhecimento, Treagust et al. (2003) explicitam que as representações discretas (macroscópica, submicroscópica e simbólica) estariam interligadas aos níveis do conhecimento químico e a um entendimento instrumental (aplicação de uma regra em um determinado contexto) que, por sua vez, estaria interligado a um entendimento relacional (TREAGUST et al., 2003).

Diante disso, Jaber e Boujaoude (2012, p.976) argumentam que “quando os alunos desenvolverem uma compreensão relacional, eles irão adquirir habilidades que os ajudem a se mover facilmente no triângulo macro-micro-simbólico, relacionando significativamente os diversos conceitos químicos”. A pesquisa conduzida por Jaber e Boujaoude (2012), tinha como objetivo aplicar uma intervenção instrucional que encurtasse o caminho para o entendimento do tema reações químicas pelos estudantes, de modo a promover uma compreensão relacional desse conceito. Primeiramente, por meio do pré-teste, os pesquisadores identificaram as dificuldades de aprendizagem dos estudantes no nível submicroscópico e simbólico da química. Depois disso, os pesquisadores abordaram algumas dessas dificuldades na Intervenção Instrucional. Eles destacaram que os modelos moleculares devem ser usados para aproximar os fenômenos reais da vida dos estudantes, de modo que possam auxiliá-los na formulação de explicações sobre o nível macroscópico utilizando o suporte do nível submicroscópico e simbólico.

A principal contribuição desse trabalho foi o fato de ele evidenciar que o entendimento relacional dos estudantes pode ser estimulado por uma abordagem de ensino macro-micro-simbólica. Os resultados indicaram que uma considerável parcela dos estudantes do grupo experimental foi capaz de criar mapas conceituais adequados sobre o tema reações

químicas. Os autores concluem dizendo que seria ideal que o ensino de química, por meio da abordagem macro-micro-simbólica, se tornasse um "hábito de ensinar química" pelos professores, de modo que essa abordagem refletiria no planejamento de aulas, na interação em sala de aula e na avaliação (JABER e BOUJAOUDE, 2012).

Parece que a noção da compreensão relacional é mais abrangente do que a noção da competência representacional. Nesse sentido, essas duas linhas de pensamento podem ser complementares.

4.3.2. Modelagem molecular

As pesquisas associadas a modelagem associaram a utilização de ferramentas de visualização dinâmicas à: (i) atividades de modelagem; (ii) habilidade de modelagem e; (iii) habilidade espacial.

Chang, Quintana e Krajcik (2010) utilizaram atividades de modelagem para avaliar o uso da ferramenta Chemation, um programa de computador de mão que possibilita ao estudante construir modelos moleculares bidimensionais e animações simples. As atividades de modelagem exigiam que os estudantes cumprissem etapas como projetar, interpretar e avaliar modelos moleculares dinâmicos. O grupo experimental passou por todas essas etapas e a avaliação foi feita em pares. O grupo de controle foi submetido apenas às duas primeiras etapas descritas. Os pesquisadores estavam interessados em investigar se a etapa de avaliação traria algum progresso para os estudantes sobre a compreensão da química. Os resultados indicaram que as animações feitas pelo grupo experimental foram mais precisas do que as do grupo controle. As animações construídas auxiliaram os estudantes a estabelecer relações entre o nível simbólico e o macroscópico. Outro resultado dessa pesquisa sugere que a avaliação por pares permitiu que os estudantes se sentissem encorajados a utilizar várias representações para relacioná-las com os fenômenos do mundo real.

Considerando outra abordagem, Dori e Kaberman (2012) defendem a ideia de que a aprendizagem da ciência química pelos estudantes está associada ao desenvolvimento de habilidades de modelagem. Para que essas habilidades sejam desenvolvidas, é necessário que os professores solicitem que os estudantes elaborem seus próprios modelos, enfatizando que os modelos têm limitações e, por esse motivo, é interessante utilizar vários tipos de modelos para se ter uma visão melhor do todo. Os autores associam habilidades de modelagem à compreensão espacial de estruturas moleculares e à habilidade de transitar entre as

representações moleculares e entre os diferentes níveis do conhecimento químico (DORI e KABERMAN, 2012).

A pesquisa conduzida por Venkataraman (2008) se destaca das demais pesquisas por investigar o impacto das intervenções instrucionais baseadas em modelagem molecular computacional e visualização, para estudantes que não seguem carreira científica. Os resultados indicaram que os estudantes se engajaram nas atividades interativas com o *software* e que essas atividades favoreceram a criação de modelos mentais sobre os sistemas e processos químicos (VENKATARAMAN, 2008).

Por sua vez, a pesquisa de Williamson e José (2008) foi feita com professores do Ensino Básico e do Ensino Superior, além da participação de alguns pós-graduandos. Nessa pesquisa os sujeitos participaram de *Workshops*, nos quais eles estudaram e discutiram diversos aspectos do tema visualização molecular, como implicações para o ensino ou ferramentas de visualização dinâmicas. Além disso, os sujeitos passaram por um treinamento da habilidade espacial por meio do contato com modelos virtuais. Os resultados do estudo permitiram perceber que foram pouco expressivas as mudanças de atitudes dos professores em relação às mudanças no seu conhecimento de conteúdo. Mudanças significativas foram observadas na habilidade espacial dos sujeitos.

Essas pesquisas evidenciaram que as ferramentas de visualização integradas a atividades de modelagem podem potencializar a aprendizagem dos estudantes, visto que, eles se tornaram mais ativos nesse processo, melhoraram ou desenvolveram a habilidade espacial aplicada à química, inclusive os professores dos diferentes níveis de ensino.

4.3.3. Aspectos cognitivos dos sujeitos e o processo de aprendizagem

Embora vários artigos tenham explicitado a teoria dos modelos mentais, modelos que são criados dentro da mente como uma ideia, Tasker e Dalton (2006) e Kelly (2014) se destacam por trabalhar especificamente com esse modelo e associá-lo com os aspectos cognitivos dos sujeitos. Tasker e Dalton (2006) apresentaram a perspectiva do modelo de processamento de informações audiovisuais e Kelly (2014) apresentou a perspectiva da habilidade metacognitiva.

Um dos objetivos da pesquisa de Tasker e Dalton (2006) foi evidenciar os modelos teóricos que auxiliaram na construção do Projeto VisChem, animações de química, e

investigar a eficácia da utilização das animações VisChem. Além disso, eles intencionaram apresentar um modelo de processamento de informações audiovisuais baseados nas pesquisas de Johnstone (1986) e Mayer (1997), apud Tasker e Dalton (2006). Eles descrevem o modelo como explicitado no trecho a seguir:

O modelo descreve a aprendizagem em termos de um sistema de processamento de informação audiovisual que envolve a percepção de estímulos verbais e visuais em partes separadas da memória sensorial; seleção por meio de um filtro; integração e processamento da informação verbal e visual dentro de um espaço de trabalho de capacidade limitada; e armazenamento dessas informações na memória de longo prazo (LTM), para recuperação e transferência eficientes para novas situações. (TASKER e DALTON, 2006, p. 148)

Quando os estudantes visualizam animações, vários fatores podem ser apresentados, como imagens, textos escritos ou sons (narração). Esse modelo serviu como parâmetro para que os pesquisadores pudessem identificar aspectos da animação que influenciam a aprendizagem efetiva dos estudantes, ou seja, a eficácia do VisChem. Os resultados indicaram que a animação VisChem pode contribuir para a formação de modelos mentais mais próximos do cientificamente aceito, desde que bem orientados por seus professores (TASKER e DALTON, 2006).

Utilizando uma outra abordagem, Kelly (2014) busca compreender como os estudantes reconhecem a variação entre seus modelos mentais e os modelos apresentados pelos instrumentos de visualização. Para isso, ela apresenta um estudo sobre a condutividade dos sólidos iônicos e soluções aquosas de sais. Kelly (2014) investigou a metacognição dos estudantes, ao reavaliarem seus modelos após intervenção com as animações. Foi solicitado aos estudantes que desenhassem o cloreto de sódio sólido e em solução aquosa, antes e depois da intervenção com as animações. Os pesquisadores perceberam que os estudantes apresentaram concepções alternativas sobre a natureza particular da matéria. Por exemplo, no caso da substância cloreto de sódio, que é constituído por pares de íons ou o cloreto de sódio em solução, faz uma ligação química com a água. Nesse estudo, os estudantes vivenciaram experiências com os modelos virtuais para auxiliar na visualização do nível submicroscópico para a dissolução de substâncias iônicas em água. Após essa atividade os estudantes realizaram um movimento na tentativa de adaptar os novos aspectos do nível submicroscópico visualizados, ao seu modelo inicial. Esse é um indício de que os estudantes estavam progredindo no sentido de melhorar o seu modelo mental sobre o nível submicroscópico,

porém ainda havia uma grande resistência para abandonar o seu modelo inicial de modo a reelaborar seu modelo e torná-lo mais coerente com os modelos cientificamente aceitáveis (KELLY, 2014).

Tasker e Dalton (2006) e Kelly (2014) mostraram que, além de se preocupar com o “como ensinar”, é preciso compreender sobre “como os estudantes aprendem” (cognição dos sujeitos). Diante disso, podemos dizer que a utilização de modelos virtuais no ensino de química pode auxiliar o progresso dos estudantes. Porém, é preciso aplicar atividades que oportunizem aos estudantes se engajarem e que sejam ativos no processo de mudança de suas concepções sobre o mundo submicroscópico, de modo que ocorra uma progressão.

4.4. Alguns conceitos que nortearam esta pesquisa

Aprender química requer que os estudantes detenham ou desenvolvam certas habilidades. As tarefas espaciais e as visualizações de estruturas bidimensionais ou tridimensionais são um dos grandes problemas enfrentados pelos estudantes ao estudar temas da química que exigem o entendimento de representações dos compostos químicos (BARNEA e DORI, 1999). Para minimizar esses problemas, os professores podem utilizar ferramentas de visualização, que são mais propícias em um contexto específico de suas aulas, e utilizar uma abordagem que promova a aprendizagem efetiva dos estudantes.

As habilidades de visualização e representação moleculares são consideradas muito importantes para o aprendizado da Química (GIORDAN, 2005; GIORDAN e GÓIS, 2005; TASKER e DALTON, 2006; VENKATARAMAN, 2008; WILLIAMSON e JOSÉ, 2008; CHANG, QUINTANA e KRAJCIK, 2010; DORI e KABERMAN, 2012; STIEFF et al., 2015; entre outros). Portanto, neste trabalho consideraremos essas duas habilidades específicas para guiar parte de nossas análises.

Barnea e Dori (1999), baseadas em outros autores, indicam as possíveis dificuldades encontradas pelos estudantes relacionadas a habilidade de visualização: (i) visualização espacial - a capacidade de compreender com precisão objetos tridimensionais a partir de sua representação bidimensional; (ii) orientação espacial - a capacidade de imaginar como uma representação aparecerá em diferentes perspectivas e; (iii) relações espaciais - a capacidade de visualizar os efeitos de operações como rotação, reflexão e inversão, ou manipulação mental dos objetos (BARNEA e DORI, 1999, p. 258).

A habilidade de representação molecular, que consideramos neste trabalho, se aproxima do exposto por Kozma e Russel (2005) ao explicitarem as habilidades inerentes à competência representacional.

Acreditamos que essas habilidades podem ser desenvolvidas pelos estudantes com o auxílio do professor e por meio da utilização de diferentes ferramentas de visualização. Para que isso se efetive é necessário que os estudantes se engajem nas atividades propostas e que o professor, ao apresentar esses recursos para os estudantes, realize ações que facilitem esse processo.

Assim, neste trabalho, centramos nossas análises nas ações do professor e as relacionamos com o tipo de habilidade que elas podem auxiliar no desenvolvimento dos estudantes. Para isso, investigamos quais ações do professor, ao fazer uso de determinada ferramenta de visualização, poderiam favorecer o desenvolvimento das habilidades de visualização ou das habilidades de representação molecular. Entendemos que essas análises podem evidenciar qual(is) aspecto(s) das habilidades de visualização e representação molecular estão sendo explicitados pelos professores na sala de aula para uma aprendizagem efetiva dos estudantes.

5. OS CAMINHOS PERCORRIDOS NO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

No primeiro ano do mestrado, cursei disciplinas que me auxiliaram no desenvolvimento inicial desta pesquisa. Em uma delas, foi possível fazer a revisão bibliográfica que gerou um capítulo desta dissertação. A revisão foi feita utilizando a base de dados ERIC (Education Resources Information Center), na qual estipulei um período para o levantamento de arquivos, de 2004 a 2016, direcionada para verificar o que tem sido produzido sobre o uso de representações no ensino de química. Para isso, considerei cinco palavras chave para a busca: chemistry education, simulations, animations, molecular representation e molecular visualization. Acreditamos que o período de tempo estipulado tenha sido representativo para discutir o que tem sido pesquisado recentemente nessa área. A partir desta busca bibliográfica, selecionamos 14 artigos de diferentes revistas internacionais, tomando como base sua relevância e contribuição para esta pesquisa.

Durante muito tempo, o foco deste trabalho estava voltado para análise do uso dos modelos virtuais, que são as simulações e animações, por professores de química. Após a produção dos dados e o início das análises desta pesquisa, o trabalho foi se reconfigurando e sentimos a necessidade de expandir nosso foco de análise para que englobasse todos os tipos de representação molecular utilizados por professores, não somente os modelos virtuais. Essa expansão permitiu que fossem feitas discussões mais amplas sobre a temática em estudo e acreditamos ter aumentado as possibilidades de contribuição para a área do ensino de química.

Em outras duas disciplinas, nos debruçamos no estudo de nosso referencial teórico base, que visava discutir trabalhos de Vigotski e alguns advindos de pesquisa que os levaram em consideração. Esses estudos deram origem a um capítulo teórico desta dissertação. Ainda com os estudos dos textos apresentados nessas disciplinas foi possível selecionar os conceitos que posteriormente sustentariam nossas análises.

Dessa forma, entendemos que esse percurso de estudos dos textos da revisão bibliográfica, bem como os textos que compuseram nosso referencial, foram muito importantes para que pudéssemos desenvolver este trabalho de pesquisa. Porém, destacamos que no desenvolver deste trabalho foi preciso recorrer novamente à literatura para o esclarecimento de alguns pontos e para complementar nossas discussões, principalmente à medida que aprofundamos na análise dos dados.

A seguir, descrevemos as etapas do caminho metodológico que estruturou esta pesquisa.

5.1. A seleção e caracterização dos professores

Tendo em vista o foco inicial deste trabalho, o uso de modelos virtuais por professores de química, procurávamos professores que: (i) utilizassem modelos virtuais sobre moléculas em suas aulas e (iii) tivessem interesse em participar desta pesquisa. De acordo com esses critérios de seleção acreditamos que restringimos consideravelmente o número de professores que poderiam participar da pesquisa, visto que são poucos os que incorporam o uso de simulações em suas aulas. Portanto, selecionamos apenas um sujeito de pesquisa para cada um dos níveis de ensino (superior e médio).

A professora do Ensino Médio selecionada ministra aulas para estudantes do primeiro, segundo e terceiro ano. Para garantir o anonimato de nosso sujeito de pesquisa, o nome fictício Ariela será utilizado. Para caracterizar a professora Ariela, destacamos aspectos de sua formação acadêmica e atuação profissional, como mostrado no Quadro 1.

Tabela 1 - Dados relativos à formação e atuação profissional da professora Ariela analisada neste trabalho.

Local de Formação		Tempo de serviço em anos	Nível de ensino de atuação	Local atual de atuação
Graduação em Tecnologia em Química Ambiental (2010)	Graduação em Química Licenciatura (2016)			
Anhanguera Educacional	UFMG	7	Ensino Médio	Escola estadual de Belo Horizonte. Escola particular de Santa Luzia.

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

A professora Ariela graduou-se em Tecnologia em Química Ambiental (2010), pela Anhanguera Educacional e em Química Licenciatura (2016), pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). No período de 2008-2010, ela atuou na área técnica como

estagiária do curso de química ambiental na Indústria de papel e papelão São Roberto e na Quantum Ensaio Físico Químicos de Água e Efluentes.

Após formatura em sua primeira graduação, Ariela decidiu solicitar o Certificado de Avaliação de Título (CAT) para a Superintendência Regional de Ensino de Minas Gerais (SRE-MG), visto que não havia se adaptado às funções da área técnica. Esse documento é uma autorização para lecionar a título provisório em escola estadual de educação básica. As pessoas que possuem curso superior, ou que estejam matriculadas e frequentes em curso superior, podem solicitar o CAT. Então, no final de 2010, Ariela iniciou sua carreira no magistério ministrando aulas de química para o Ensino Médio na rede estadual de Belo Horizonte. A partir de 2013, assumiu aulas de química também na rede particular de ensino.

O professor do ensino superior selecionado ministra aulas de Química Geral para diversos cursos relacionados com a química (licenciatura/bacharelado em Química, Farmácia e Engenharias). Essa disciplina é obrigatória e ofertada geralmente no primeiro período desses cursos, ou seja, ela é uma ponte entre os níveis de ensino médio e superior. Por isso, consideramos uma disciplina muito importante por trabalhar conceitos estruturantes da química, inclusive o conceito molécula.

Para garantir o anonimato de nosso sujeito de pesquisa o nome fictício Paulo será utilizado. Para caracterizar o professor Paulo, destacamos aspectos de sua formação acadêmica e atuação profissional como mostrado no Quadro 2.

Tabela 2 - Dados relativos à formação e atuação profissional do professor Paulo analisado neste trabalho.

Curso de formação	Local de Formação			Tempo de serviço em anos	Nível de ensino de atuação	Local atual de atuação
	Graduação (2003)	Mestrado em Inorgânica (2004)	Doutorado em Inorgânica (2008)			
Química licenciatura	UFMG	UFMG	UFMG EUA	11	Ensino Superior	UFMG

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O professor Paulo graduou-se em Química Licenciatura pela UFMG, em 2003. Fez mestrado (2004) e o doutorado em Química Inorgânica (2008), ambos pela UFMG. Antes dessa formação, período de 1994-1997, Paulo cursou o técnico/profissionalizante em Química na Fundação Educacional Montes Claros.

Esse professor vem de uma formação na área do ensino, embora tenha continuado seus estudos na área da Química Inorgânica. Acreditamos que essa formação inicial contribuiu para a forma como o professor ensina e suas concepções sobre o ensino de química. Ele possui 11 anos de experiência em docência do Ensino Superior, ministrando principalmente aulas de Química Geral. Não possui experiência como professor do Ensino Médio, embora tenha atuado em projetos relacionados com esse nível de ensino. Atualmente, trabalha em uma renomada instituição de ensino, a UFMG.

No período de 2004-2007 Paulo atuou como professor substituto na UFMG ministrando aulas de Química Geral para os cursos de engenharia (Civil, de Produção, de Minas e de Controle e Automação), Farmácia, Nutrição e Química. Sendo que, em 2007 atuou como professor substituto voluntário. Contabilizando esse período, o professor possui 11 anos de experiência no magistério.

Em 2009, o professor atuou como adjunto II na Universidade Federal da Bahia (UFBA) no qual trabalhou por 2 anos e meio. Em meados de 2011, retornou para a UFMG como professor efetivo e nessa instituição ministra aulas de Química Geral, Química Inorgânica e Química dos Alimentos para diversos cursos de graduação. Além disso, ele é professor de Química Inorgânica Avançada para os estudantes de pós-graduação. Acreditamos que essas experiências podem contribuir para a forma como ele mobiliza os saberes em suas aulas.

5.2. A produção dos dados

Após aceitação dos professores ao convite para participar desta pesquisa e explicação sobre os objetivos do trabalho, iniciamos a etapa de produção dos dados. Para que pudéssemos responder as questões que instigaram esta pesquisa, descritas no Capítulo 2, precisaríamos observar minuciosamente as aulas dos professores, por isso optamos por fazer o registro das aulas em vídeo.

Com base em informações fornecidas pelos professores, combinamos de filmar as aulas em que eles abordavam os temas polaridade e geometria molecular. Os dois professores utilizavam simulação quando trabalhavam essas temáticas. Por isso, indicaram essas aulas para a pesquisa. No sentido de compreender aspectos sobre a trajetória acadêmica e profissional, bem como aspectos sobre a performance dos professores, optamos por utilizar, além do registro em vídeo, o recurso da entrevista.

Com a intenção de organizar e expor nossas expectativas sobre as escolhas dos métodos e detalhes sobre a produção de dados, dividimos a seção em: (i) o registro em vídeo e seleção das aulas e (ii) a entrevista.

5.2.1. O registro em vídeo e seleção das aulas

O uso do registro do material empírico em vídeo tem sido muito utilizado para dar suporte às análises qualitativas. Garcez, Duarte e Eisenberg (2011) salientam que a utilização adequada das gravações de imagem e som possibilita registrar aspectos difíceis de serem percebidos por meio de outros recursos de produção de dados, como a simples observação. O registro em vídeo permite que examinemos o material empírico inúmeras vezes, e que sempre possamos rever esse material, no caso de alguma dúvida. Tendo em vista que o nosso interesse era analisar como os professores utilizavam representações em suas aulas ao agir com os recursos didáticos, que consideramos um conjunto de ações complexas, julgamos necessário fazer a gravação das aulas em vídeo.

Como dissemos neste capítulo, os professores sugeriram as aulas para serem filmadas e analisadas. Como foi filmado apenas um tema “polaridade e geometria molecular”, nós utilizamos todo o material empírico para fazer as análises, ou seja, utilizamos todas as aulas que filmamos dos professores.

Para a análise das aulas lecionadas no Ensino Médio, filmamos três aulas de 50 minutos da professora Ariela. Essas aulas foram filmadas no segundo semestre de 2017 no período da manhã, nas quais Ariela ministrava os temas para estudantes do primeiro ano do Ensino Médio. A turma era composta por 25 estudantes.

Para a análise das aulas lecionadas no Ensino Superior, selecionamos duas aulas do professor Paulo, sendo que uma delas foi retirada do banco de dados de nosso grupo de pesquisa e a outra aula foi filmada especificamente para este trabalho. A aula 1, retirada do

banco de dados, foi filmada no primeiro semestre de 2017 em que o professor ministrou aulas de Química Geral para o curso de Química Licenciatura. A aula 2, filmada no segundo semestre de 2017, também de Química Geral, foi ministrada para o curso de Engenharia Química. Todas as duas turmas comportavam, em média, 40 estudantes, eram de curso diurno e as aulas foram ministradas no período da manhã.

Inicialmente, seria utilizada a sequência de aulas do segundo semestre de 2017, como acordado com o professor Paulo após o aceite do convite. Porém, não foi possível filmar a primeira aula sobre polaridade e geometria molecular porque a estagiária do professor, que cursava a pós-graduação em química, fazia sua intervenção exatamente sobre esse tema. Por isso, recorreremos a aula do banco de dados de nosso grupo de pesquisa para compor a sequência de aulas, visto que se tratava exatamente da aula inicial que precisávamos. Dessa forma, obtivemos uma sequência de 4 aulas de 50 minutos, sendo que eram ministradas duas aulas por dia, aulas geminadas, portanto, dois vídeos (aula 1 e aula 2).

O planejamento para esse tema era o mesmo, tanto para o curso de Química quanto para as Engenharias, não ocasionando alteração na forma como o professor ensinava. Diante disso, acreditamos que a aula 1 complementar nossas análises sem prejuízo algum.

A filmagem das aulas do Ensino Médio foi feita pela pesquisadora. As filmagens do ensino superior foram feitas por bolsistas de iniciação científica que foram devidamente instruídos para tal fim, devido indisponibilidade da pesquisadora em realizar essa tarefa.

Para a gravação das aulas, utilizamos uma câmera filmadora, focalizando o professor. Essa câmera foi instalada em uma posição mais ao fundo da sala, de modo a registrar toda a movimentação dos professores e que interferisse menos possível na dinâmica da aula. Havia um microfone acoplado nessa câmera para captar a fala do professor e estudantes com maior nitidez.

Como os professores já haviam participado de pesquisas anteriores, em que foi necessária a utilização de câmeras, percebemos que eles se mostraram confortáveis com a filmagem. Em relação aos estudantes, nossa percepção é a de que eles não se sentiram intimidados com a presença da câmera nem de seu manipulador, visto que a participação desses estudantes na aula foi bastante efetiva e nos pareceu muito natural. As gravações das aulas eram descarregadas no computador de nosso laboratório de pesquisa e, posteriormente, armazenadas em um HD externo.

A partir da filmagem das aulas foi possível preservar a riqueza de detalhes que elas ofereceram e fazer uma análise mais minuciosa. Sempre que necessário, foi possível revisitar trechos do vídeo, e, sem ele, não teria sido possível fazer as análises descritas neste trabalho.

5.2.2. A entrevista

A entrevista, quando bem sucedida, permite ao pesquisador coletar informações sobre como os sujeitos percebem e significam sua realidade, aspectos que não poderiam ser destacados apenas com a interpretação dos dados pelo pesquisador (DUARTE, 2004). Optamos por utilizar a entrevista para identificar aspectos da prática dos professores que não puderam ser percebidas com os vídeos das aulas, de modo a contribuir com as nossas análises.

Combinamos com o professor Paulo e com a professora Ariela que faríamos a entrevista após fazer uma análise geral das aulas, ou seja, assistir aos vídeos das aulas e identificar pelo menos os aspectos gerais da performance de cada um para que pudéssemos estruturar um roteiro com perguntas que fossem esclarecedoras e contribuíssem com esta pesquisa. Portanto, ao final do segundo semestre de 2017, elaboramos um roteiro de perguntas (APÊNDICE) que guiaram nossa conversa com eles. No momento da entrevista, a medida que se fazia necessário, outras perguntas foram feitas aos sujeitos de pesquisa.

Nosso roteiro de entrevista considerou alguns aspectos que acreditamos ser essenciais para identificar o ponto de partida da prática do professor. Elaboramos as perguntas da entrevista de modo que obtivéssemos respostas sobre sua trajetória acadêmica, sua trajetória profissional (onde lecionou, quanto tempo de magistério, em quais níveis de ensino atuou) e perguntas para compreender melhor as ações que ocorreram nas aulas analisadas ~~seu planejamento das aulas~~. Além disso, os professores foram convidados a falar sobre sua prática e explicar como foi o processo de incorporação dos recursos didáticos, quais as limitações e possibilidades que eles percebiam ao fazer uso desses recursos em suas aulas. Ao final da entrevista, solicitamos aos professores que deixassem uma mensagem motivadora para os professores, e/ou para quem interessasse, sobre o uso dos recursos didáticos, com destaque para a simulação, no ensino de química.

A entrevista foi realizada no ambiente de trabalho dos sujeitos pesquisados e registrada em vídeo. Percebemos que eles se mostraram muito dispostos e à vontade com a entrevista. Assim como para os vídeos das aulas, os vídeos das entrevistas foram

descarregados no computador de nosso laboratório de pesquisa e, posteriormente, armazenado em um HD externo. A transcrição⁸ da entrevista foi feita pelos bolsistas de iniciação científica de nosso grupo de pesquisa.

5.3. A metodologia de análise dos dados

Após a fase de produção dos dados, seguimos nossa pesquisa com a etapa de análise dos dados. Para isso, utilizamos um *software* de análise qualitativa, o NVivo 11 Pro, para dar suporte nessa tarefa. O NVivo 11 Pro foi desenvolvido para organizar, analisar e compartilhar dados. Com esse *software* é possível trabalhar com texto, áudio, vídeos, imagens, planilhas, pesquisas on-line, mídia social e conteúdo da Web. Além disso, é possível criar mapas para mostrar associações entre seus dados.

Para sistematizar os dados, construímos mapas de episódios e mapas de codificação utilizando o NVivo 11 Pro, elaboramos gráficos e geramos figuras a partir dos vídeos das aulas.

A elaboração de um mapa de episódio consiste em dividir os vídeos das aulas em fragmentos menores denominados episódios. De acordo com Mortimer et al. (2007, p.61), um episódio é definido “como um conjunto coerente de ações e significados produzidos pelos participantes em interação, que tem um início e fim claros e que pode ser facilmente discernido dos episódios precedente e subsequente.” Geralmente esses episódios refletem um conjunto de intenções didáticas do professor que podem caracterizar sua performance na sala de aula.

A construção de um mapa de codificação consiste em fazer a marcação de uma ou mais categorias anteriormente inseridas no *software*, no vídeo das aulas e por meio do *software* de análise. A partir disso, são geradas listras ou faixas de codificação, linhas coloridas, dispostas abaixo de uma linha do tempo do vídeo. Essas faixas correspondem

⁸ Nesta pesquisa, utilizamos um código simplificado para registrar uma pontuação à língua oral buscando aproximar escrita da forma como os sujeitos explicitaram suas ideias. Diante disso, para indicar uma mudança no tom, indicativo de uma pergunta (tom ascendente), ou um tom descendente típico dos pontos finais, foram mantidos o ponto de interrogação (?), e o ponto final (.), sempre que a entonação da fala assim os indicava. Os comentários, para situar algum aspecto do contexto, sinalizados por parênteses duplos ((comentário)). Para indicar uma pequena pausa usamos a barra / ou uma pausa longa //. Para indicar trechos retirados da fala dos professores que não tinham relação com as perguntas, utilizamos o sinal (...) (Buty e Mortimer, 2008)

exatamente ao tempo em que ocorreu a marcação daquela categoria. Dessa forma, pode-se verificar a ocorrência de tal categoria no período de tempo da aula ou até mesmo de um episódio. Por meio do mapa de codificação, também é possível observar a densidade de codificação que é o momento em que ocorre sobreposição entre as marcações de duas ou mais categorias.

Para sustentar nossas discussões dos resultados das análises, fizemos correlações com conceitos centrais da teoria de Vigotski e analisamos as estratégias didáticas que os professores utilizaram em suas aulas. Porém, como nosso foco de estudo se baseia na visualização molecular, focamos nossa análise nas estratégias que eles mobilizam, baseando nos conceitos de habilidade de visualização e representação molecular. Para isso, classificamos essas estratégias dos professores que foram observadas, o que corroborou para a compreensão de como eles ensinam os conceitos e quais as ações realizam quando fazem uso de diferentes representações moleculares. Nesse contexto, utilizamos algumas propriedades da Ação Mediada (Wertsch, 1998), a saber: (i) tensão irreduzível e (ii) restrições e possibilidades, porque as consideramos necessárias para o tipo de análise que realizamos.

Ao final de cada capítulo de análise, buscamos contrastar as práticas e as estratégias dos dois professores analisados. O objetivo não é fazer comparações entre eles, visto que atuam em níveis de ensino diferentes, mas apenas contrastar suas aulas para evidenciar certos aspectos. Diante disso, buscamos destacar as características idiossincráticas que fazem com que as aulas desses professores contribuam para o desenvolvimento das habilidades que nos propomos investigar.

Para que pudéssemos obter um panorama das aulas e assim identificar as características principais sobre a prática dos professores, fizemos a macroanálise das aulas. Para aprofundar nossas discussões sobre os aspectos discutidos na macroanálise foi feito, posteriormente, o que denominamos de microanálise. A seguir, descrevemos como foi feita a macroanálise, a microanálise e a análise da entrevista.

5.3.1. A macroanálise

Inicialmente, identificamos, categorizamos e descrevemos as formas de representação molecular utilizadas pelos professores como recurso didático. Verificamos que apareceram a fórmula molecular, estrutura de Lewis, simulação e modelo molecular concreto. Feito isso, caracterizamos cada uma dessas representações.

Com o intuito de ter uma visão mais ampla das aulas e identificar quais recursos didáticos eram utilizados em cada momento da aula, construímos os mapas de episódios. Para determinar as fronteiras de um episódio é necessário analisar um conjunto de fatores como o tema, as ações dos envolvidos, o posicionamento dos participantes no espaço físico que eles ocupam, o modo como interagem entre si e como agem com os recursos disponíveis no ambiente (MORTIMER, 2007). Desse modo, restringimos a análise e utilizamos como critério principal para determinar as fronteiras do episódio apenas o tema.

Para identificar em quais momentos da aula e por quanto tempo o professor mobiliza essas representações, para tratar dos conceitos científicos com os estudantes, construímos o mapa de codificação. Cada forma de representação molecular identificada nas aulas do professor Paulo representou uma categoria ou nó (como denominado no *software*). A partir dessas categorias, fizemos as marcações das listras de codificação a cada momento em que o professor fazia uso das representações moleculares.

Para as representações que eram inscritas no quadro (fórmula molecular e estrutura de Lewis), consideramos que os professores faziam uso delas quando: as desenhava e/ou destacavam aspectos desses desenhos. No caso da simulação, consideramos que os professores faziam uso dela quando: manuseavam a simulação por meio do computador e/ou apontavam para a projeção destacando algum aspecto. Para o modelo molecular concreto, consideramos que os professores faziam uso dele quando: manuseavam o modelo molecular concreto, erguiam o modelo para mostrar sua configuração geométrica e quando montavam ou trocavam peças desse modelo.

Após a análise dos mapas de codificação, sentimos a necessidade de explorar, ainda com uma visão panorâmica, como ocorriam as transições entre as formas de representação molecular, tomando-se como base um episódio. Por isso, construímos um mapa de sub-episódios, nos baseando principalmente na mudança da representação molecular utilizada, a partir de um episódio previamente selecionado.

Optamos por colocar os mapas de episódio e de sub-episódios no próprio corpo do capítulo de análise para que o leitor possa visualizar e comparar esses dados, à medida que fizer a leitura do texto desta dissertação.

Em alguns momentos da macroanálise, inserimos transcrições de fragmentos da fala dos professores ou de um diálogo entre eles e os estudantes. Destacamos mais uma vez

que o nosso foco de análise são os professores. As falas dos estudantes são importantes para complementar aspectos que poderiam ficar obscuros caso não fossem evidenciadas. Com isso, foi possível exemplificar aspectos que precisavam ser destacados em nossas análises.

5.3.2. A microanálise

Observamos que diferentes episódios das aulas de cada professor seguiam uma organização semelhante na forma como os professores utilizavam as representações moleculares. Por esse motivo, optamos por fazer a microanálise apenas em um episódio de cada um deles, por entender que essa análise mostra a forma como o professor trabalha com as representações.

Procuramos aprofundar nossas discussões sobre os aspectos analisados no tópico “macroanálise”, bem como trazer outras discussões que julgamos pertinentes. Para isso, apresentamos trechos da fala dos professores ou de alguma interação deles com os estudantes, imagens da aula e esquemas.

Assim como na macroanálise, em alguns momentos da microanálise, inserimos transcrições de fragmentos da fala dos professores ou de um diálogo entre eles e os estudantes, com o mesmo objetivo citado anteriormente. Com isso, foi possível exemplificar, com maior detalhe, aspectos que julgamos serem necessários de se destacar em nossas análises.

5.3.3. Análise da entrevista

Para analisar a entrevista, importamos sua transcrição para o NVivo 11 Pro. Neste programa de análise, fizemos a marcação dos fragmentos de fala dos professores que consideramos relevantes para complementar nossas discussões. Esses fragmentos foram inseridos no decorrer dos capítulos da macroanálise e da microanálise, à medida que julgamos necessário.

Com dissemos anteriormente, ao final da entrevista foi solicitado aos professores que deixassem uma mensagem motivadora para os demais professores. A partir dessa mensagem, fizemos uma nuvem de palavras. Essa nuvem de palavras permitiu identificar algumas palavras/ideias centrais nas mensagens, o que contribuiu para ampliar nossa percepção sobre seus modos de pensar o ensino de química, no geral, e das representações moleculares, no particular.

6. UM PANORAMA DAS AULAS DA PROFESSORA ARIELA E DO PROFESSOR PAULO

Neste capítulo, apresentamos um panorama de duas aulas do Ensino Superior ministradas pelo professor Paulo e de três aulas do Ensino Médio ministradas pela professora Ariela. Nossos objetivos, com esse capítulo, são: (i) caracterizar a trajetória profissional desses professores; (ii) compreender quais são as ferramentas de visualização que eles utilizam em suas aulas de polaridade e geometria molecular (iii) caracterizar essas ferramentas e; (iv) evidenciar o contexto de quando elas foram utilizadas, no decorrer das aulas analisadas.

Retomamos aqui as afirmações de Wertsch (1998) por serem norteadoras de importantes apontamentos que fazemos no decorrer dessa apresentação. Nesse contexto, o autor explicita a importante consideração da tensão irreduzível entre o agente e o instrumento de mediação (agência). Sobre essa propriedade, Wertsch (1998) realiza, em alguns de seus trabalhos, análises sobre esses dois elementos, primeiro separadamente para depois estabelecer as necessárias conexões entre ambos. Neste trabalho, faremos algo semelhante. Primeiramente, apresentamos esses dois elementos separadamente e, no próximo capítulo, discutimos sobre eles, considerando-os em uma unidade de análise.

Nossas vivências influenciam diretamente o nosso modo de ser e agir no mundo, sejam experiências no campo pessoal ou no campo profissional. Acreditamos que os professores estão em constante mudança e em constante aperfeiçoamento, ao fazerem consciente ou inconscientemente, reflexões sobre sua própria prática. Dessa forma, consideramos que relatar parte dessas vivências, mais especificamente do campo profissional, contribuirá para uma análise mais completa sobre as ações dos professores em sala de aula.

Como mencionado, todas as análises foram orientadas pelos dados quantitativos e qualitativos gerados pelo *software* NVivo 11 com base nas categorizações criadas para a análise do vídeo das aulas. O NVivo 11 nos permitiu elaborar os mapas de codificação, os gráficos de percentual de uso das representações moleculares e a construção dos mapas de episódios e a categorização das transcrições da entrevista. Apoiando-nos nesses dados, na observação das aulas e nos referenciais teóricos utilizados, elaboramos as discussões deste capítulo à luz dos referenciais teóricos que escolhemos.

A seguir, apresentamos a caracterização da trajetória profissional desses professores, a macroanálise de suas aulas e, por fim, as considerações finais do capítulo. Primeiramente, apresentamos as análises dos dados referentes à professora Ariela e, posteriormente, discutimos as análises dos dados referentes ao professor Paulo.

6.1. AS ANÁLISES DAS AULAS DA PROFESSORA ARIELA

Para melhor organização e apresentação dos dados, dividimos este tópico do capítulo em: (i) caracterização da trajetória acadêmica e profissional; (ii) a macroanálise das aulas - a classificação das ferramentas de visualização; (iii) a macroanálise das aulas - apresentação do mapa de episódios; (iv) a macroanálise das aulas - apresentação dos mapas de codificação e os gráficos percentuais de uso das representações moleculares e (v) a transição entre as representações moleculares utilizadas.

6.1.1. Caracterização da trajetória profissional

Apesar dos desafios que a sala de aula apresentou, no início da carreira docente e das dificuldades inerentes a mudança de profissão, a professora Ariela vislumbrava um futuro nessa área. Após ingressar no curso de licenciatura, ela percebeu que sua prática foi evoluindo cada vez mais, devido às experiências que o curso proporcionou.

Durante a sua graduação, ela participou como bolsista de Iniciação à Docência (ID) do Projeto Práticas Motivadoras de Química para Escolas Estaduais de Minas Gerais. Sobre essa experiência, Ariela faz algumas reflexões:

Eu via que o projeto ele/ por mais que eu não tinha tido ainda matéria da educação/ eu aprendia muito/ e muito do que eu uso hoje foi por causa do projeto// As matérias da educação me ajudaram pra caramba/ minha forma de dar aula evoluiu muito desde quando eu entrei aqui na federal/ Mas eu acho que 70% do que eu sou hoje como professora eu devo ao projeto/ porque foi lá que eu realmente/ as discussões/ a forma de dar aula/ tudo que a gente aprendeu lá/ é basicamente o que eu uso hoje.
(Fala da professora Ariela na entrevista, novembro de 2017)

Naquele projeto de ID, os licenciandos em Química precisavam elaborar planejamentos de aulas, ministrar aulas temáticas e pensar em estratégias de ensino que pudessem engajar os estudantes nas atividades propostas. Nas reuniões de grupo do projeto eles faziam uma reflexão sobre a própria prática e das estratégias utilizadas nas aulas. A percepção da professora, quanto a participação em projetos como esse, nos indica que eles são

importantes para a vida profissional dos professores em formação e que eles podem complementar o currículo da licenciatura em Química, atualmente vigente na UFMG.

Ariela relatou que, no início de sua carreira, ela não usava nenhum recurso didático além do quadro, visto que sua formação era voltada para atuação em laboratório e ela ainda não compreendia muitos aspectos da licenciatura. Porém, a medida que ganhava mais experiência de sala de aula e por influência do curso de licenciatura no qual ingressara, ela começou a buscar, na internet e em outros lugares, recursos para auxiliá-la nas representações pertinentes à química (moléculas, átomos etc.). Foi assim que Ariela conheceu as simulações e animações para o ensino de Química. Vejamos o relato dela sobre essas ferramentas de visualização:

No início eu não usava simulação porque na escola estadual não tinha recursos para isso. Quando eu fui para a ((escola)) particular já tinha e a gente podia reservar e utilizar [...] eu acho que é muito complicado pro aluno visualizar algumas coisas na química/ então toda vez que eu consigo/ eu tento levar alguma coisa diferente [...] às vezes eu utilizo o modelo bola vareta/ mas na maioria das vezes eu utilizo simulação/ vídeo/ animação/ porque eu acho que ajuda a clarear um pouco/ ajuda a fazer eles conseguirem ver uma coisa que não dá pra imaginar/ então só a gente falar às vezes não é suficiente pra eles criarem isso/ criar um modelo na cabeça deles e conseguir visualizar as coisas/ Então eu comecei a procurar por causa disso/ porque eu via que eles ficam assim meio boiando e comecei a pesquisar na internet/ deixa eu ver aqui o que que tem sobre isso/ sobre aquilo. (Fala da professora Ariela na entrevista, novembro de 2017)

Essa fala de Ariela nos mostra a preocupação da professora em criar condições para o desenvolvimento da habilidade de visualização das entidades químicas pelos estudantes, aproximando-os do nível submicroscópico. Além disso, busca também promover a aproximação do nível macroscópico do conhecimento químico, trazido pelas vídeo-demonstrações. Ela evidencia sua preferência por modelos virtuais e vídeos demonstrativos de fenômenos macroscópicos para auxiliá-la no processo de ensino da química. Entendemos que a professora considera a dinamicidade desses modelos virtuais para facilitar a apropriação de aspectos do conceito molecular/iônico pelos estudantes, efeito que foi evidenciado em algumas pesquisas (GIORDAN, 2005; GIORDAN e GÓIS, 2005; TASKER e DALTON, 2006; WILLIAMSON e JOSÉ, 2008; VENKATARAMAN, 2008; CHANG, QUINTANA e KRAJCIK, 2010; DORI e KABERMAN, 2012; CHIU e LINN, 2014; KELLY, 2014).

Apresento, a seguir, um exemplo da fala da professora Ariela sobre a dinamicidade dos modelos virtuais, no caso a simulação.

O par de elétrons lá em cima ((da molécula)) é que influencia na geometria toda/ aquilo ali/ como que eu vou mostrar isso no quadro(?) como que eu vou mostrar isso desenhando (?) fazendo a molécula ali na frente deles não dá/ então se você tem a simulação/ você consegue acrescentar o par de elétrons lá em cima e na hora que você acrescenta/ você já vê a mudança da geometria/ então isso favorece muito. (Fala da professora Ariela na entrevista, novembro de 2017)

Como dissemos, as vídeo-demonstrações utilizadas pela professora destacam exemplos do universo macroscópico. Para tanto, ela buscava vídeos na internet, no Facebook, que podem ser utilizados para explicar o fenômeno utilizando a ciência química escolar. Essa estratégia pode aproximar os estudantes da química escolar, de modo que ela seja mais atraente para eles, nesse nível de ensino.

O modelo molecular concreto também tem sido utilizado em algumas aulas da professora Ariela. Ela destacou que atividades que envolvem o uso de modelos moleculares concretos auxiliam os estudantes a visualizarem tridimensionalmente o que geralmente eles veem bidimensionalmente nos livros didáticos. Além disso, a professora ressaltou a importância de trabalhar atividades em que os estudantes construam e manipulem os modelos moleculares concretos.

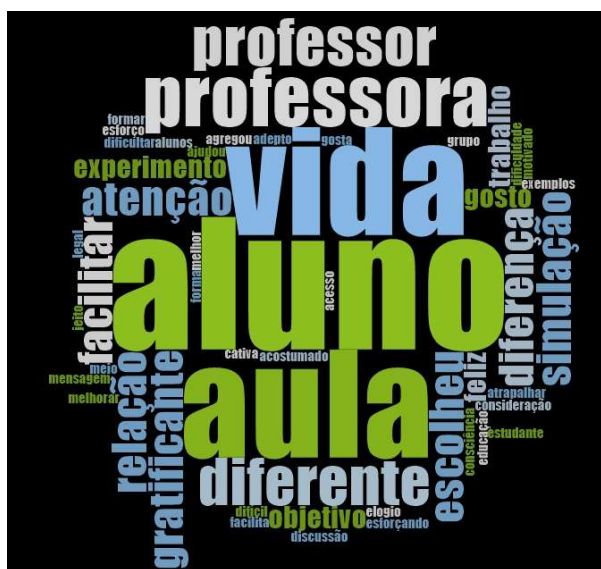
Outro aspecto importante da fala da professora diz respeito às limitações de certos recursos nas escolas, os meios que fazem uso de suporte material (OLIVEIRA, 2018), como os aparatos de projecção, normalmente constituídos por projetor multimídia, tela de projecção e computadores. Além disso, observamos que na escola particular, local onde fizemos as filmagens, apesar da disponibilidade de projetores multimídia e computadores, havia a necessidade de agendar empréstimo e fazer a montagem do equipamento na sala de aula. A montagem demanda um certo tempo, o que limita seu uso no sentido de que diminui o tempo da aula como um todo. Outra limitação seria o acesso a internet nas escolas, que muitas vezes não tem rede wifi disponível ou a internet fica restrita apenas a alguns locais, como a sala dos professores. Esses fatores podem ser limitadores para que professores optem por utilizar certos recursos, como os modelos virtuais. Porém, destacamos que esforços, como os da professora Ariela, podem trazer grandes benefícios para a aprendizagem dos estudantes.

Observamos que, nas aulas da professora Ariela, foi ela quem manipulou as simulações, tanto a de polaridade quanto de geometria molecular. Diante disso, investigamos

se a professora planejou atividades que contemplem o envolvimento direto dos estudantes com os modelos virtuais. Identificamos que ela não utiliza nenhum planejamento que envolve ativamente os estudantes na manipulação dos modelos virtuais. Ela esclarece que nas escolas onde ela trabalha não há laboratório de informática e, por isso, aulas como essa ficam inviáveis de acontecer. Portanto, percebemos que a falta de equipamentos disponíveis nas escolas pode limitar o planejamento das atividades que utilizem as ferramentas de visualização.

Ao final da entrevista foi solicitado à professora que deixasse uma mensagem de incentivo ao uso de novos recursos didáticos, como o uso da simulação, para os professores e professoras dos diferentes níveis de ensino. Para essa fala de Ariela, foi feita uma nuvem de palavras (ver Figura 6).

Figura 6 - Gráfico nuvem de palavras para a mensagem de motivação aos docentes proferida pela professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Analisando a Figura 6, percebemos que algumas palavras se destacam mais que as outras como: aluno, aula, vida, professor, professora e diferente. Para Ariela, o aluno é o sujeito central do processo educativo e o professor ou a professora são os principais responsáveis por fazer uma dinâmica de sala de aula mais coerente com a contemporaneidade. Ela nos disse ainda que o papel dos professores é facilitar a vida acadêmica do aluno, no sentido de fornecer o máximo de elementos possíveis para auxiliá-los no processo de aprendizagem. Para isso, segundo a professora Ariela, é necessário que o professor se esforce

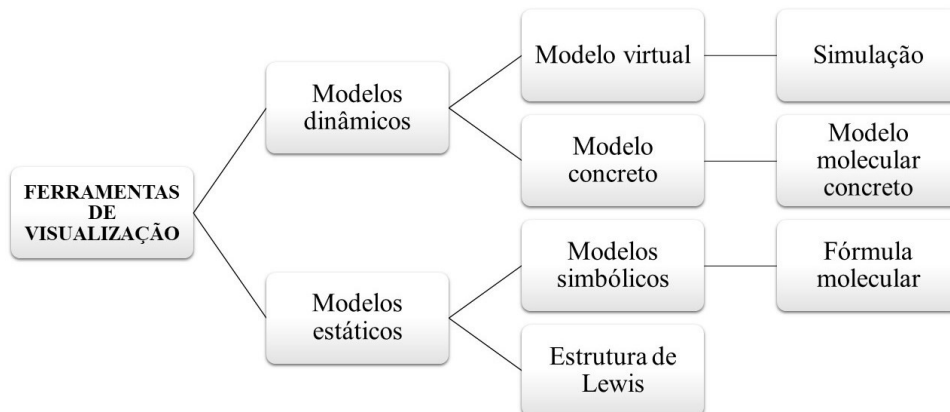
para utilizar em suas aulas vários recursos didáticos, além da simulação, como os experimentos. Ela finaliza sua fala destacando que não há nada mais gratificante, para o professor ou professora, do que perceber que os estudantes estão engajados nas suas aulas.

No próximo tópico apresentamos a macroanálise das aulas da professora Ariela, caracterizamos as representações moleculares utilizadas e tecemos nossas discussões acerca dos mapas de episódios dessas aulas.

6.1.2. A macroanálise das aulas: a classificação das ferramentas de visualização

Utilizamos três aulas da professora Ariela, que foram ministrada para estudantes da primeira série do ensino médio. O objetivo da professora na aula 1 foi trabalhar o conceito de polaridade das ligações e das moléculas. Nas aulas 2 e 3, a professora aplicou uma atividade em que o objetivo era o estudo do tema geometria molecular. Para alcançar esses objetivos, ela utilizou algumas ferramentas de visualização. Considerando a natureza desses recursos e suas potencialidades, criamos a seguinte categorização, vista na Figura 7:

Figura 7 - Esquema de categorização das ferramentas de visualização usadas pela professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 7, as ferramentas de visualização utilizadas pela professora Ariela podem ser classificados como modelos dinâmicos, por exemplo, os modelos virtuais (MV) e os modelos concretos, representados respectivamente pela simulação e o

modelo molecular concreto (MMC), ou ainda, modelos estáticos, como os modelos simbólicos, representado pela fórmula molecular (FM), e a estrutura de Lewis (EL).

A fórmula molecular é aquela que informa quais e quantos átomos constituem determinada molécula, por exemplo, CO_2 , HF ou ainda H_2 . A EL (ver Figura 8) são representações que se fazem da molécula no quadro, organizando os átomos no espaço e distribuindo os elétrons de valência ao redor dos átomos. Os pares compartilhados foram representados por traços. Essa representação é estática, por não apresentar nenhuma dinamicidade e, bidimensional, pois a imagem foi desenhada no plano do quadro (dois eixos - x e y).

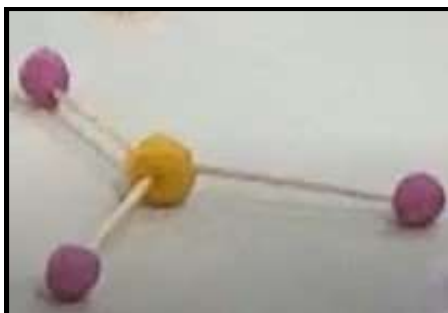
Figura 8 - Representação da estrutura de Lewis para a molécula do ácido fluorídrico.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O MMC é aquele utilizado para representar tridimensionalmente as moléculas por meio dos átomos e suas ligações covalentes. Esse modelo é dinâmico, visto que é possível girar a molécula, mover as ligações e alterar os ângulos de ligação. Na aula de geometria molecular analisada, foram utilizados modelos de palito de dente e massinha de modelar que foram construídos pelos estudantes ou pela professora. A Figura 9 ilustra esse modelo e está representada a seguir:

Figura 9 - Representação do modelo molecular concreto para a molécula BF_3 que foi feito pelos estudantes na atividade proposta pela professora Ariela.



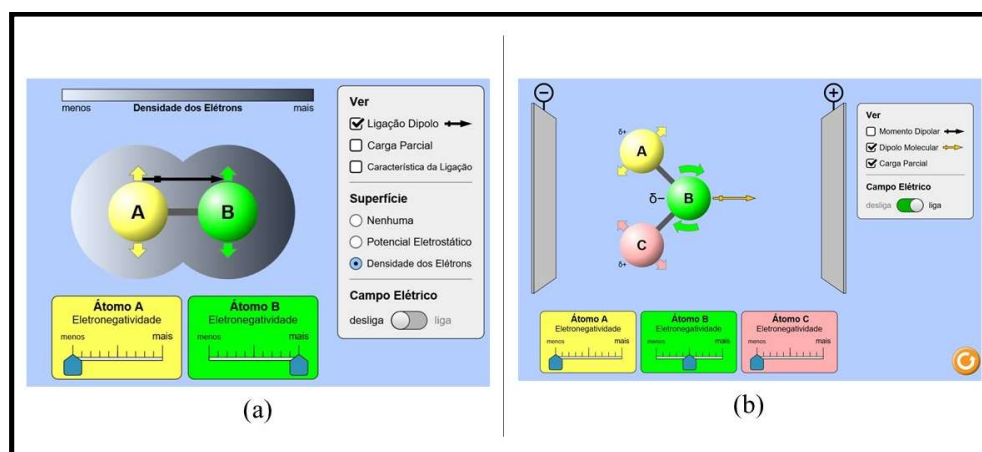
Fonte: Elaborado pela autora a partir da foto tirada do material usado pela professora Ariela, 2018.

O MV é aquela representação que utiliza *softwares* como suporte para sua exposição. Esse modelo é dinâmico devido a sua mobilidade, giro da molécula e das ligações,

além das diversas opções de visualização - dipolo molecular⁹, cargas parciais¹⁰ ou densidade eletrônica. Nas aulas analisadas foram utilizadas simulações, o PhET molecule polarity (polaridade das moléculas) e o PhET molecule shapes (geometria molecular). Essa forma de representação molecular, embora seja bidimensional, fornece uma perspectiva tridimensional.

O *software* sobre polaridade da molécula possibilita a demonstração de moléculas genéricas diatômicas (Figura 10a) ou triatômicas (Figura 10b) e moléculas reais (Figura 11).

Figura 10 - Representação das moléculas não reais (a) diatômicas e (b) triatômicas vistas pelo simulador PhET polaridade da molécula utilizado pela professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do PhET *Molecule Polarity*, 2018.

Para as moléculas genéricas é possível variar a eletronegatividade¹¹ dos átomos além de visualizar o momento dipolar resultante¹², dipolo molecular, as cargas parciais, ligar um campo elétrico, ver a densidade dos elétrons ou ainda o potencial eletrostático.

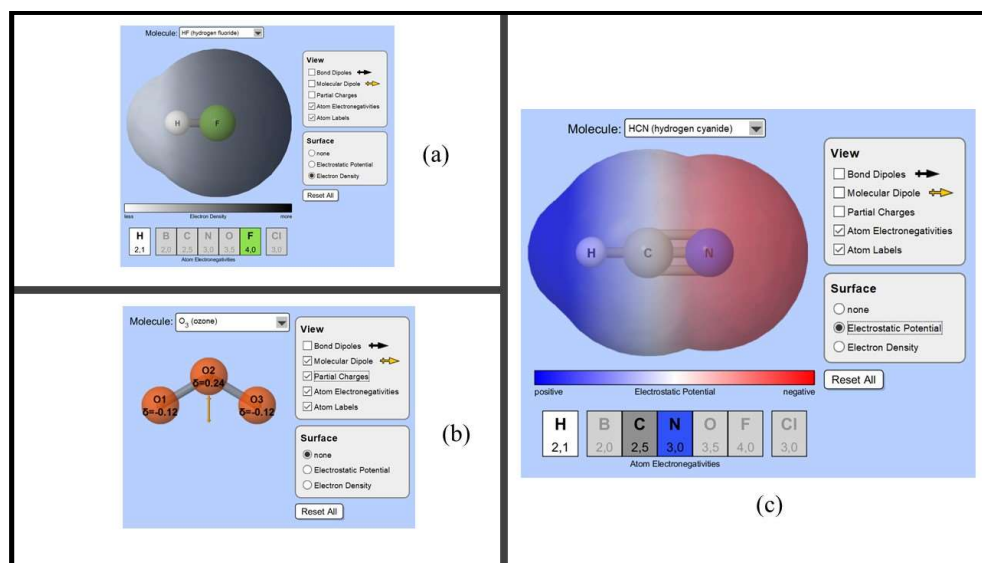
⁹ Dipolo molecular: é uma grandeza vetorial em que se tem um dipolo elétrico decorrente de uma diferença de eletronegatividade entre os átomos envolvidos.

¹⁰ Cargas parciais: o compartilhamento desigual dos elétrons da ligação química causa a formação de um dipolo que é representado como cargas parciais com valores positivos ou negativos.

¹¹ Eletronegatividade: capacidade de atrair os elétrons para si. Falamos de eletronegatividade sempre quando há ligação química entre os átomos envolvidos.

¹² Momento dipolar resultante: é a soma dos vetores do dipolo molecular que resultará em um novo vetor ou não. Se a soma vetorial for igual a zero a molécula será apolar, se for diferente de zero será polar.

Figura 11 - Representação de moléculas reais (a) HF com a nuvem de densidade eletrônica, (b) O₃ com as cargas parciais e o vetor dipolar e (c) HCN e nuvem de potencial eletrostático, vistas com o simulador PhET polaridade da molécula utilizado pela prof. Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do PhET *Molecule Polarity*, 2018.

Para as moléculas reais é possível visualizar o valor de eletronegatividade dos átomos e das cargas parciais, ver as ligações simples, duplas ou triplas que, por ventura, existam na molécula, além das possibilidades citadas para as moléculas genéricas.

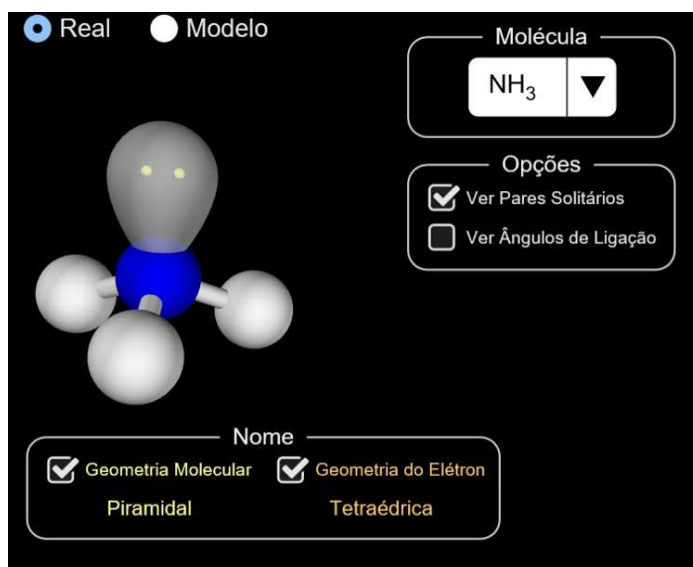
No caso do *software* Phet geometria molecular (Figura 12), é possível selecionar uma molécula real, por exemplo a amônia (NH₃), visualizar o ângulo de ligação¹³, os pares de elétrons não ligantes, bem como obter informação sobre o nome da geometria¹⁴ e do arranjo molecular¹⁵ (na simulação se denomina como a geometria do elétron).

¹³ Ângulo de ligação: aquele formado por três átomos ligados entre si.

¹⁴ Geometria molecular: considera apenas a organização dos átomos ao redor de um átomo central.

¹⁵ Arranjo molecular: considera, além da organização dos átomos ao redor do átomo central, a organização dos pares de elétrons isolados ao redor de um átomo central (quando houver).

Figura 12 - Representação da geometria do elétron para a molécula NH_3 vista pelo simulador PhET geometria molecular utilizada pela professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de PhET *molecule shapes*, 2018.

Podemos perceber que as duas simulações descritas anteriormente apresentam informações sobre a molécula, por exemplo, o ângulo de ligação, a eletronegatividade dos átomos e a representação molecular o que, como mencionado por Giordan (2005,) é uma característica marcante das simulações.

A professora relatou que as simulações possuem um papel importante para que o estudante consiga visualizar o que é submicroscópico na química, visto que a fala ou a representação que ela faz no quadro podem não ser suficiente. E nos disse que,

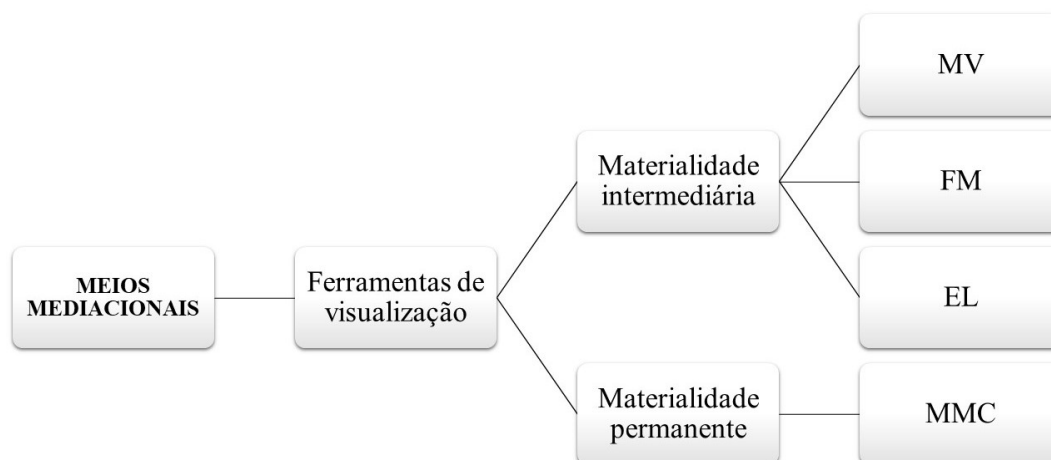
Eu uso muito pra poder mostrar geometria/ porque a parte de geometria/ de polaridade de moléculas/ de ligação/ é uma coisa que é muito difícil deles criarem uma imagem disso na cabeça/ então nessa parte eu utilizo muito. As vezes fica uma coisa muito abstrata eu só falar/ ou o meu desenho que é ruim/ então se eu mostrar alguma coisa que ali é mais concreto/ que eles conseguem visualizar da forma correta/ aquilo ali vai ajudar muito no entendimento deles. (Fala da professora Ariela na entrevista, novembro de 2017)

A professora deixa explícita a ideia de que é preciso que os estudantes visualizem o que está sendo discutido para que possam dar sentido ao que está sendo ensinado. A utilização do recurso da simulação auxilia nessa tarefa. Nesse sentido, essa ferramenta pode ser muito útil para que os estudantes possam desenvolver a habilidade de visualização. Essa

percepção da professora está de acordo com vários estudos sobre visualização e o progresso dos estudantes (GIORDAN, 2005; GIORDAN e GÓIS, 2005; TASKER e DALTON, 2006; WILLIAMSON e JOSÉ, 2008; VENKATARAMAN, 2008; CHANG, QUINTANA e KRAJCIK, 2010; DORI e KABERMAN, 2012; CHIU e LINN, 2014; KELLY, 2014).

Wertsch (1998) destaca, na Teoria da Ação Mediada, que todos os instrumentos de mediação possuem a propriedade denominada materialidade. Diante disso, podemos classificar as ferramentas de visualização de acordo com sua materialidade. Para isso, recorreremos à categorização de Oliveira (2018) para propormos a classificação dos recursos para visualização, apresentada na Figura 13:

Figura 13 - Classificação das ferramentas de visualização utilizadas pela professora Ariela em termos de suas materialidades.






Fonte: Adaptado de Oliveira (2018), p.33.

O tipo de materialidade está relacionado ao tempo de exposição da ferramenta durante a aula. O meio mediacional que apresenta materialidade intermediária é aquele em que se observa seu uso durante um tempo expressivo da aula, mas que depois desaparece da tela de projeção ou quadro. O meio mediacional que apresenta materialidade permanente é aquele, mesmo sem ser usado, conserva-se durante a aula (Oliveira, 2018). Diante disso, a professora Ariela utiliza ferramentas de visualização com materialidade intermediária, como a simulação, fórmula molecular e estrutura de Lewis, e com materialidade permanente, como o modelo molecular concreto. O caráter material dos meios mediacionais indicam características importantes para a análise de suas *affordances*, que será discutido no capítulo 7. A seguir, apresentamos o uso das ferramentas de visualização nos episódios das aulas que analisamos .

6.1.3. A macroanálise das aulas: apresentação do mapa de episódios

Vejamos nos mapas de episódios, representados esquematicamente pelas Figuras 14 e 15, nos quais ferramentas de visualização foram utilizadas em cada episódio das aulas. Salientamos que as aulas nesta escola, tinham duração aproximada de 45 minutos. Para facilitar a organização dos dados, apresentamos o mapa de episódios das aulas 2 e 3 em um único esquema, pelo fato das duas aulas serem geminadas.










Figura 14 - Esquema do mapa de episódios da aula 1 da professora Ariela.

	Episódio 1	Episódio 2	Episódio 3	Episódio 4	Episódio 5	Episódio 6	Episódio 7	Episódio 8
	00min:00s – 01min:21s	01min:22s – 03min:34s	03min:35s – 08min:06s	08min:06s – 11min:49s	11min:50s – 19min:54s	19min:55s – 31min:49s	31min:50s – 41min:49s	41min:50s – 42min:25s
Temas	Manejo de turma/ Explicitando a agenda	Retomando a ligação iônica	Substâncias polares e apolares – cargas parciais	Organizando o projetor multimídia	Molécula diatômica não real	Molécula triatômica não real	Moléculas reais HF, H ₂ , H ₂ O, CO ₂ , HCN, O ₃ e NH ₃	Manejo de classe
Modelos			$\begin{array}{c} \text{HF} \\ \text{H}-\text{F} \end{array}$					
Ferramentas de visualização	-	-	Fórmula molecular e Estrutura de Lewis	-	Modelo Virtual	Modelo Virtual	Modelo Virtual	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Analisando a Figura 14, percebemos que, na aula 1, a professora utilizou a fórmula química e desenhou a estrutura de Lewis no início da aula e depois utilizou apenas o modelo virtual com sua respectiva representação. Ressaltamos que MMC não foi utilizado nessa aula. Nos momentos em que não houve utilização de alguma ferramenta de visualização, a professora fez o manejo de classe, ministrou aula expositiva utilizando o quadro ou organizou os materiais para as aulas.

Figura 15 - Esquema do mapa de episódios das aulas 2 e 3 da professora Ariela.

Aula 2				Aula 3							
	Episódio 1	Episódio 2	Episódio 3	Episódio 4	Episódio 5	Episódio 6	Episódio 7	Episódio 8	Episódio 9	Episódio 10	Episódio 11
	00min:00s 05min:50s	05min:51s 20min:09s	20min:10s 32min:14s	32min:15s 35min:47s	00min:00s 07min:31s	07min:32s 10min:44s	10min:45s 17min:59s	18min:00s 32min:04s	32min:05s 35min:18s	35min:19s 40min:47s	40min:48s 43min:17s
Temas	Explicando a atividade	Construindo um modelo para o SO ₂ - Correção	Construindo um modelo para o BF ₃ - Correção	Construindo um modelo para o CCl ₄	Construindo um modelo para o CCl ₄ - Correção	Xenônio/ Ângulo de ligação	Construindo um modelo para o NH ₃ - Correção	Desafio: Construção dos modelos para XeF ₂ , PCl ₅ , SF ₆ e SF ₄	Correção do modelo para o XeF ₂	Correção do modelo para o PCl ₅	Correção do modelo para o SF ₆ e SF ₄
Arranjo											
Ferramentas de visualização	Fórmula molecular	Modelo molecular concreto e o Modelo virtual	Modelo molecular concreto e o Modelo virtual		Fórmula molecular, Modelo molecular concreto e o Modelo virtual	Modelo molecular concreto	Modelo molecular concreto e o Modelo virtual		Modelo molecular concreto e o Modelo virtual	Modelo molecular concreto e o Modelo virtual	Modelo Virtual

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 15, nas aulas 2 e 3, percebemos que, na maioria dos episódios, ocorreu a utilização de pelo menos duas formas de representação molecular, MMC e MV. A EL não foi utilizada nessas aulas devido ao planejamento da professora sobre a dinâmica da atividade proposta.

Destacamos que a fórmula molecular foi utilizada para apresentar a molécula que seria construída pelos estudantes na atividade. Foi solicitado aos estudantes que desenhassem a estrutura de Lewis das moléculas para, posteriormente, construir os modelos moleculares de massinha. Porém, ao fazer as correções das estruturas construídas, a estrutura de Lewis não foi levada em consideração.

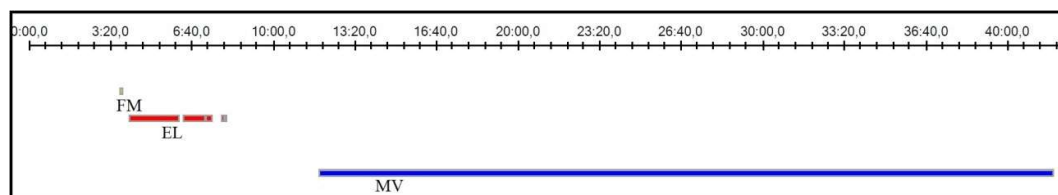
Por esse motivo, nos episódios em que ocorreram a correção das estruturas moleculares, a professora utilizou somente o MV e o MMC construído pelos estudantes. Parece que o objetivo foi avaliar o produto final desse processo, e não os caminhos que os estudantes fizeram para concluir a atividade. Com isso, o MV foi utilizado para comparar as geometrias ou arranjos dos MMC construído pelos estudantes.

No próximo tópico, apresentamos os mapas de codificação das aulas analisadas e os gráficos com os percentuais de uso das representações moleculares. Nosso objetivo foi compreender a distribuição e o percentual de uso de cada uma delas durante as aulas.

6.1.4. A macroanálise das aulas: apresentação dos mapas de codificação e dos gráficos percentuais de uso das ferramentas de visualização

A partir da construção e análise dos mapas de codificação, percebemos que a utilização das ferramentas de visualização está intimamente relacionada com o planejamento da professora. Vejamos nos mapas das aulas, Figuras 16, 17 e 18, as listras de codificação, que representam a densidade de uso das ferramentas de visualização utilizadas.

Figura 16 - Mapa de codificação das ferramentas de visualização da aula 1 da professora Ariela.



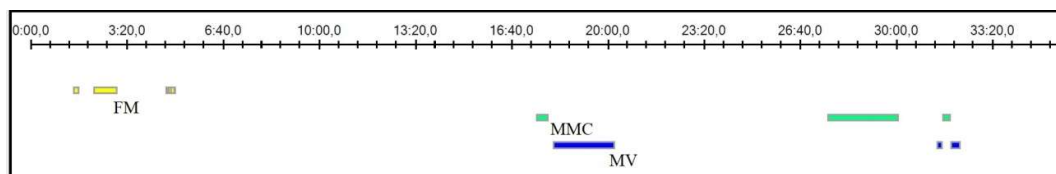
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 16, no início da aula, a professora Ariela utilizou a FM e EL. Nesse momento a professora falou sobre a representação da ligação covalente para moléculas diatômicas e fez uma introdução ao conceito polaridade da ligação e da molécula.

No tempo restante da aula, ela se dedicou ao uso do simulador para explicar o tema polaridade. O MV foi muito explorado pela professora, porém, durante a entrevista, a professora nos disse que alteraria esse planejamento porque o considerou muito cansativo, para os estudantes e para ela, utilizar a simulação na maior parte da aula. Complementou sua fala dizendo que “Quando a gente mescla ((transita entre diferentes recursos)) fica bem mais fácil, eu acho bem mais interessante” (Fala da professora Ariela na entrevista, novembro de 2017).

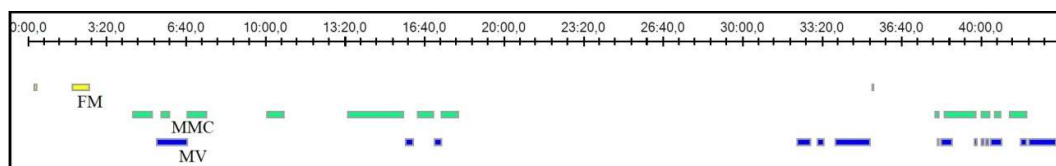
Essa percepção da professora sobre seu planejamento reflete o movimento que ela faz de reflexão sobre a própria prática, o que pode possibilitar melhoria na forma como ela ensina a ciência química escolar para os estudantes. Esse fato também justifica a intensa busca de novas ferramentas de visualização para o ensino de química feita pela professora. Os mapas de codificação das aulas 2 e 3 são apresentados a seguir:

Figura 17 - Mapa de codificação das ferramentas de visualização da aula 2 da professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Figura 18 - Mapa de codificação das ferramentas de visualização da aula 3 da professora Ariela.

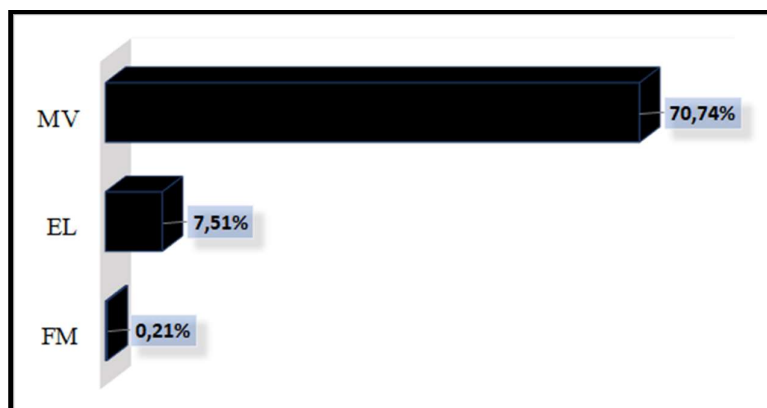


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Analisando as figuras 17 e 18, percebemos que o planejamento de uso das ferramentas de visualização, para essas aulas, mudou, quando comparadas com a aula 1. No início da aula 2, período em que foi explicitado o que seria feito na atividade, a professora utilizou somente a representação da fórmula molecular. No caso, foi apresentada as fórmulas das moléculas que os estudantes iriam construir durante a atividade. No restante da aula e, em sequência, na aula 3, ocorreu uma alternância entre o modelo molecular concreto e o modelo virtual. Em alguns momentos ocorreu a sobreposição entre esses dois modelos. Discutimos sobre a sobreposição das ferramentas de visualização mais adiante.

Os mapas de codificação permitiram identificar qual a frequência ou densidade de uso das ferramentas de visualização utilizadas pela professora, os momentos de transição entre uma representação e outra, além das sobreposições entre elas. Apresentamos a seguir os gráficos de percentual de uso, com a finalidade de analisar a incidência do uso de cada ferramenta de visualização para essas aulas. Vejamos os gráficos, Figura 19 e 20:

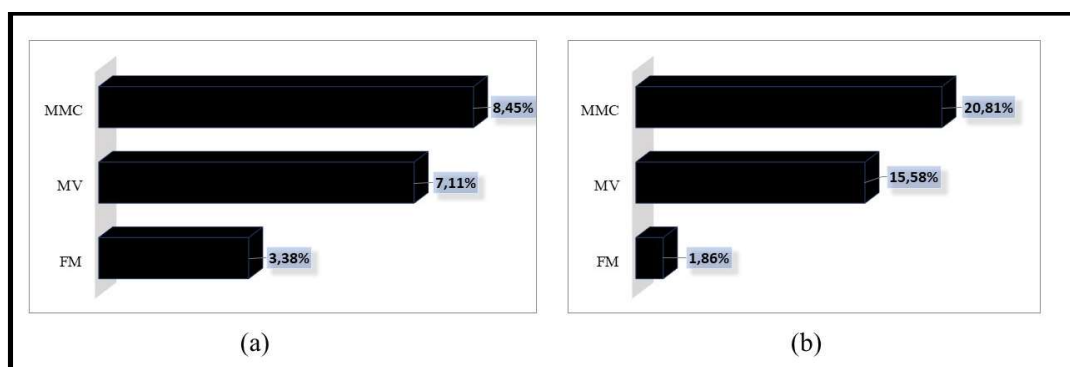
Figura 19 - Gráfico de percentual de uso das representações moleculares da aula 1 da professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 19, percebemos que a professora Ariela utilizou alguma ferramenta de visualização em 78,46% de sua aula. Sendo que 70,74% foi referente ao uso do MV, 7,51% para a EL e 0,21% para a FM. Isso indica que o uso do modelo virtual apresentou uma centralidade na aula 1.

Figura 20 - Gráfico de percentual de uso das representações moleculares (a) da aula 2 e (b) da aula 3 da professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 20, observamos que o MMC apresentou o maior percentual de uso para as duas aulas (8,45% para a aula 2 e 20,81% para a aula 3), seguido do MV (7,11% para a aula 2 e 15,58% para a aula 3). Por fim, a FM apresentou o menor percentual de uso dentre as representações utilizadas (3,38% para a aula 2 e 1,86% para a aula 3). Esses dados indicam que o modelo molecular concreto utilizado por Ariela assumiu um papel de destaque e importância nessas aulas.

Acreditamos que a centralidade do uso de uma ferramenta de visualização frente a outra pode ser explicada pelos diferentes objetivos traçados para cada aula pelo professor. Portanto, a escolha da ferramenta de visualização e sua intensidade de uso, dependem do planejamento das aulas, do tema e da abordagem utilizada para explicitar o conteúdo. Há evidências que o uso do MMC seria o mais adequado para discussão de temas que envolvam pequenas moléculas, por exemplo, estereoquímica (STIEFF et al., 2015). Por outro lado, ao trabalhar temas que envolvam macromoléculas, o mais adequado seria utilizar modelos virtuais (GIORDAN e GÓIS, 2005).

A professora relatou que acredita ser muito importante, para o processo de aprendizagem dos estudantes, a manipulação do modelo concreto, pois possibilita uma visualização 3D das moléculas, visto que são apresentadas em 2D nos livros didáticos. Por esse motivo, a professora valoriza atividades que envolvam a construção de modelos. Quando não é possível aplicar a atividade de construção dos modelos, a professora utiliza outra estratégia que está descrita a seguir:

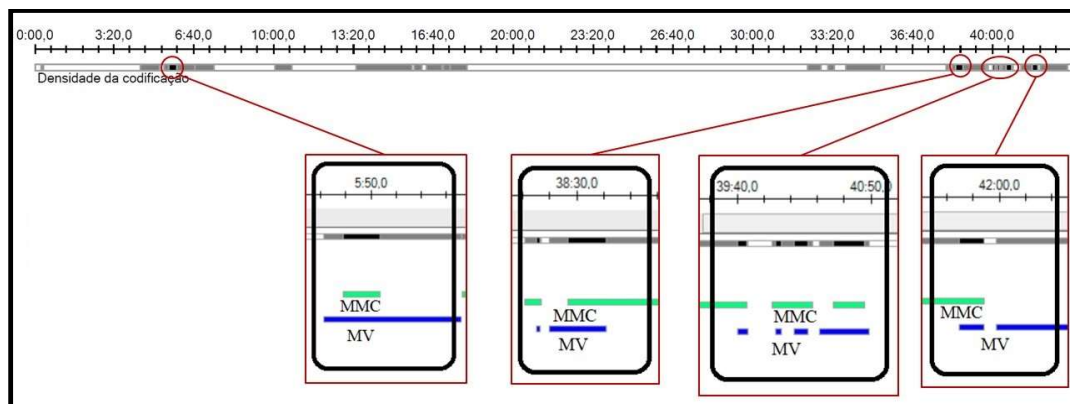
Quando eles não fazem ((a construção do modelo))/ eu tento levar o modelo bola-vareta/ o meu modelo não é muito bom/ é bem antigo e algumas bolinhas até se partiram/ mas o que dá pra eu levar eu levo/ [...] eu tento levar o modelo pra eles conseguirem visualizar ((em 3D))/ conseguirem pegar e tudo. (Fala da professora Ariela na entrevista, novembro de 2017)

A atividade que a professora propôs se aproxima da modelagem molecular evidenciada em trabalhos sobre visualização (CHANG, QUINTANA e KRAJCIK, 2010). A proposta de atividade para a aula de geometria molecular aplicada pela professora Ariela seguiu etapas de elaboração e avaliação dos modelos construídos pelos estudantes. Além disso, a atividade foi feita em duplas ou trios, o que pode ter possibilitado discussões entre os envolvidos, principalmente na etapa de elaboração dos modelos. Atividades como essa podem apresentar resultados qualitativos satisfatórios na aprendizagem dos estudantes, visto que promovem o protagonismo e criatividade deles (CHANG, QUINTANA e KRAJCIK, 2010).

Diante disso, parece que a professora reconhece que a construção de modelos moleculares pode auxiliar os estudantes a desenvolverem suas habilidades de representação e visualização molecular. Ao transitar entre diferentes formas de representação, do MMC para o MV e vice-versa, o desenvolvimento dessas habilidades pode ser potencializado.

A análise feita no NVivo 11 nos permitiu perceber as sobreposições do uso das ferramentas de visualização, que somente ocorreu na aula 3. Vejamos o mapa, Figura 21 a seguir, que apresenta a localização dessas sobreposições na aula:

Figura 21 - Mapa de densidade de codificação da aula 3 da professora Ariela.




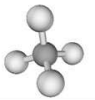

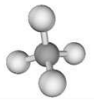

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 21, percebemos que ocorreram 8 sobreposições das representações na aula 3. A professora sobrepôs o MMC ao MV. No próximo capítulo discutiremos mais detalhadamente sobre esse assunto, relacionando as sobreposições com as ações da professora Ariela. No próximo tópico, discorreremos sobre como a transição entre as ferramentas de visualização ocorrem no contexto do planejamento de aula da professora.

6.1.5. A transição entre as representações moleculares utilizadas

Para compreender como ocorre a transição entre as representações moleculares, selecionamos o episódio 5 da aula 3 porque ele apresentou a melhor demarcação dessa transição. Como na aula 1 não houve transição significativa entre as representações, ela não foi considerada para essa análise. Diante disso, dividimos o episódio 5 da aula 3 em sub-episódios, considerando como critério, para a mudança de episódio, a transição entre as representações moleculares. Vejamos a Figura 22:

Figura 22 - Esquema do mapa de sub-episódios referente ao episódio 5 da aula 3 da professora Ariela.

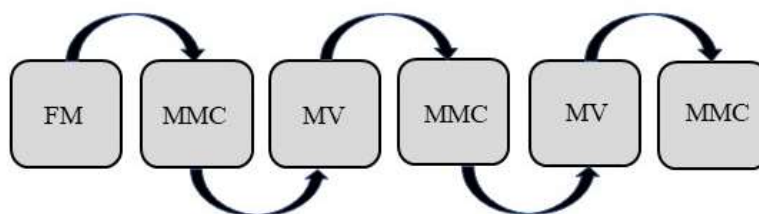
	Episódio 1	Episódio 2	Episódio 3	Episódio 4	Episódio 5	Episódio 6	Episódio 7
	00min:00s - 00min:22s	00min:23s - 04min:16s	04min:17s - 05min:09s	05min:10s - 05min:31s	05min:32s - 05min:53s	05min:54s - 06min:39s	06min:40s - 07min:31s
Representação molecular	CCl₄						
Temas	Fórmula molecular	Construindo os modelinhos concreto	Seleção dos modelos concretos	Visualizando o modelo virtual	Analisando o modelo concreto	Analisando o modelo virtual	Avaliando o modelo molecular concreto
Ferramentas de visualização principal	Fórmula molecular		Modelo molecular concreto	Modelo virtual	Modelo molecular concreto	Modelo virtual	Modelo molecular concreto

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Ariela iniciou esse episódio com a retomada da fórmula molecular, CCl₄, para explicitar qual molécula está sendo trabalhada. Em seguida, os estudantes terminaram de construir seus MMC's. Após o tempo estipulado para o término da elaboração dos modelinhos, pelos estudantes, ocorreu a seleção dos MMC's para posterior avaliação. Nesse momento, a professora selecionou os diferentes modelos, inclusive o que se aproximava da representação correta, e solicitou que os estudantes fizessem uma comparação entre eles. Em sequência, a professora projetou o MV no quadro e, logo em seguida, fez a comparação dos modelinhos juntamente com os estudantes. Novamente ela retomou a simulação, fazendo uma análise mais detalhada de suas características, como a presença ou ausência de par isolado no átomo central. Por fim, Ariela fez a avaliação dos modelinhos construídos, em conjunto com os estudantes, destacando qual deles se aproximava da estrutura representada pelo MV.

Ao analisarmos, ainda pela óptica da macroanálise, essas transições entre as representações moleculares, percebemos que existe uma complementaridade entre elas e existe uma sequência de transição definida. A FM é “expandida” para o MMC com sua tridimensionalidade que, por sua vez, é comparado com o MV bidimensional com caráter tridimensional e que apresenta informações sobre aquela molécula. De acordo com os objetivos da professora, ocorreram transições entre as duas últimas representações moleculares citadas. Essa sequência, possui a seguinte ordenação (Figura 23):

Figura 23 - Representação da sequência de transição das representações moleculares complementares feitas pela professora Ariela no episódio 5 da aula 3.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Denominamos esse movimento que a professora fez de “sequência de transição das representações moleculares complementares”. Para os outros episódios das aulas 2 e 3, em que ocorreram construção e correção dos MMC’s, ocorreu algo muito semelhante ao que foi identificado nesse episódio. Ao ser questionada sobre o seu planejamento e ordenação de sua apresentação das representações moleculares, em suas aulas, a professora relatou:

eu não tinha usado desse jeito ainda/ foi a primeira vez que eu usei/ das outras vezes eu usei/ eu mostrei separado ((simulação)) eu mostrei a geometria e mostrava a simulação. [...] eu falei pra eles levarem massinha dessa vez/ porque da outra vez eu lembro que eu falei pra eles levarem jujuba/ e a jujuba esraçalhou inteira/ porque o palito de dente era muito grosso pra você ficar com três palitos ali ((modelo molecular concreto))/ e era muito açúcar/ Então foi a primeira vez que eu fiz mesclando as duas coisas ((modelo concreto e virtual)). (Fala da professora Ariela na entrevista, novembro de 2017)

Diante disso, percebemos que a professora Ariela planejou a aula atribuindo às representações apresentadas na simulação um objetivo especial: a correção da atividade de construção do MMC. Portanto, diferentemente do que Velázquez-Marcano et al. (2004) discutem em seu trabalho, ao enfatizarem que a ordem de apresentação das ferramentas de visualização (vídeo e animação), para os estudantes, não importava, nos parece que a sequência de apresentação das ferramentas de visualização é considerada importante para as aulas de geometria molecular da professora. Além disso, devido as suas experiências, Ariela substituiu os materiais para a construção dos modelos. Mais uma vez percebemos como a professora Ariela se mostra aberta a mudanças de planejamento e da sua prática, devido a suas

reflexões sobre suas próprias aulas, além de propor novas abordagens para potencializar o uso das ferramentas de visualização.

No próximo capítulo, discutimos detalhadamente sobre as ações da professora ao transitar pelas diferentes formas de representação molecular. A seguir, apresentamos as análises feitas das aulas de Química Geral do ensino superior ministradas pelo professor Paulo.

6.2. AS ANÁLISES DAS AULAS DO PROFESSOR PAULO

Para melhor organizar e apresentar os dados dividiremos esse tópico do capítulo em: (i) caracterização da trajetória profissional; (ii) a macroanálise das aulas - a classificação das ferramentas de visualização; (iii) a macroanálise das aulas - apresentação do mapa de episódios; (iv) a macroanálise das aulas - apresentação dos mapas de codificação e os gráficos percentuais de uso das ferramentas de visualização e (v) a transição entre as ferramentas de visualização utilizadas.

6.3. A caracterização da trajetória acadêmica e profissional

O professor Paulo sempre se mostrou interessado pela área de ensino. Quando cursava o curso técnico ele foi monitor de algumas disciplinas. No ensino superior, fez iniciação científica na área de ensino de química e nos contou que sempre se engajou nas disciplinas de educação do curso de Química Licenciatura. E concluiu dizendo, “((por isso)) me considero um professor razoável/ mas estou sempre tentando melhorar [...]” (Fala do professor Paulo na entrevista, novembro de 2017).

Para melhorar a sua prática o professor vem incorporando o uso de algumas ferramentas de visualização. Vejamos o relato dele sobre esse assunto:

A única coisa que eu geralmente utilizava no início ((da carreira docente)) era só slide com projeção de figuras no máximo[...] lá na Federal da Bahia [...] a primeira turma que eu peguei lá foi 80% de reprovação/ aí eu falei assim/ a culpa não é só deles/ acho que tem um pouco de culpa minha também/ então eu comecei a repensar as aulas. [...] hoje eu uso quadro/ projetor/ mas ainda levo animação ((na verdade é simulação)) que dá pra ver as moléculas, mover, ver ângulo. Eu levo também os modelos/ então assim/ depois dessa experiência que eu tive uma reprovação altíssima/ eu comecei a trazer mais isso para a aula porque eu vi que aquilo de certa forma ajudava. (Fala do professor Paulo na entrevista, novembro de 2017)

O professor se considera muito exigente com os estudantes para os quais ministra aulas de Química Geral. Segundo ele, para exigir um bom rendimento acadêmico deles é preciso exigir um nível de desempenho coerente de si próprio. Então ele tem buscado melhorar a sua prática docente, utilizando MMC e MV, organizando o quadro, fornecendo materiais de estudo para os estudantes, pesquisando o que há de novo na área, entre outras estratégias. Nesse sentido, o professor passou a utilizar em suas aulas o MMC, há mais ou menos 8 anos, e, aos poucos, foi incorporando o MV, há aproximadamente 5 anos atrás. Ele nos contou que, o que despertou seu interesse para o uso de simulações foi a orientação de um trabalho de conclusão de curso de um estudante que pesquisava sobre esse assunto e também motivado por um colega de trabalho da UFBA.

O objetivo de uso dessas ferramentas está intimamente relacionado com a aprendizagem dos estudantes. Ele complementa essa ideia dizendo:

eu acho que tudo que eu uso nas aulas inclusive/ é com objetivo de tentar facilitar o processo de ensino-aprendizagem porque eu tenho plena consciência que química é uma disciplina extremamente abstrata/ então se você não tiver meio de tentar facilitar um pouco aprendizagem (Fala do professor Gilson na entrevista, novembro de 2017)

O professor relatou que ao optar pela utilização do MMC, ele foi, a partir de suas experiências, adaptando e otimizando seu uso. No início, Paulo deixava para montar as moléculas na sala de aula. Ele percebeu que isso demandava um tempo considerável e que os estudantes se dispersavam na aula. Atualmente, o professor leva os modelinhos já montados ou chega na sala de aula com antecedência, para montá-los.

eu uso as simulações [...] para tentar trazer um pouco de visual/ de imagens/ de movimento/ para dar exatamente assim/ tentar se aproximar um pouco daquilo que seria um real/ a gente sabe que não é/ que o modelo bem é simplificado/ mas que já ajuda os alunos a enxergarem alguma coisa/ criar um modelo. (Fala do professor Gilson na entrevista, novembro de 2017)

A capacidade das simulações de conferir dinamicidade às representações moleculares foi um fator que chamou a atenção do professor ao optar por incorporar o seu uso, fator esse que tem sido muito discutido em pesquisas do ensino de química que obtiveram bons resultados ao usar modelos virtuais (GIORDAN, 2005; GIORDAN e GÓIS, 2005; TASKER e DALTON, 2006; WILLIAMSON e JOSÉ, 2008; VENKATARAMAN,

2008; CHANG, QUINTANA e KRAJCIK, 2010; DORI e KABERMAN, 2012; CHIU e LINN, 2014; KELLY, 2014). Além disso, Paulo acredita que o uso do MV é mais uma possibilidade para auxiliar os estudantes no processo de visualização das entidades ontológicas da química. Esse fato reforça a característica do professor de renovar sempre sua prática e, conseqüentemente, a incorporação de novas ferramentas didáticas.

Paulo destacou que planeja o uso de cada ferramenta de visualização antes de usá-las nas aulas. É interessante destacar que o professor busca melhorar seu planejamento a cada semestre, por meio da análise das “respostas” dos alunos em suas aulas. Ele conta que uma das coisas que o ajuda a melhorar suas aulas são as dúvidas dos estudantes. Quando surge uma dúvida que se destaca das demais por sua legitimidade, o professor, no semestre seguinte, ao preparar as aulas, adapta os aspectos das dúvidas dos estudantes, reformulando seu planejamento.

Observamos nas aulas do professor Paulo que, apesar de ele permitir que os estudantes manipulem o MMC em algum momento das aulas, é ele quem centraliza a manipulação do MMC (maior parte do tempo) e do MV. Diante disso, investigamos se o professor planejava as atividades que contemplavam o envolvimento direto dos estudantes com as ferramentas de visualização. Identificamos que ele não havia pensado sobre isso ainda. Sobre a simulação de geometria molecular, ele imaginava que os estudantes poderiam utilizá-la em casa, como um material complementar de estudos. Com relação ao MMC, ele incentivava os estudantes a construírem seus próprios modelos, que inclusive podem ser utilizados como auxílio nas provas.

Ao final da entrevista, foi solicitado ao professor que deixasse uma mensagem de incentivo ao uso de novas ferramentas de visualização, como a simulação, para os professores dos diferentes níveis de ensino. Para essa fala de Paulo, foi feita uma nuvem de palavras, vista na Figura 24.

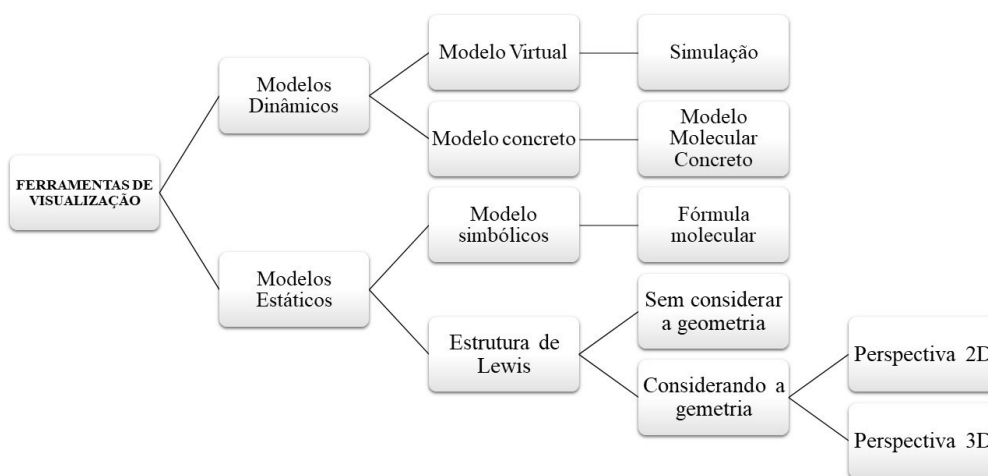
ferramentas de visualização) dentro das possibilidades do que já existe e a sensibilidade em relação aos estudantes.

No próximo tópico apresentamos a macroanálise das aulas do professor Paulo, caracterizamos as representações moleculares utilizadas e tecemos nossas discussões acerca dos mapas de episódios dessas aulas.

6.3.1. A macroanálise das aulas: a classificação das ferramentas de visualização

Utilizamos duas aulas de Química Geral do professor Paulo, que foram ministradas para estudantes, dos cursos de Química e Engenharia Química, que iniciaram na graduação. Os objetivos das duas aulas analisadas foi trabalhar o conceito de polaridade das ligações e da molécula, bem como trabalhar os conceitos arranjo molecular e geometria molecular, considerando moléculas com o número de coordenação¹⁶ (NC) variando de 2 a 6. Para alcançar esse objetivo, o Professor utilizou algumas ferramentas de visualização nessas aulas. Considerando a natureza desses recursos e suas potencialidades, apresentamos a seguinte categorização, apresentada na Figura 25.

Figura 25 - Esquema de categorização das ferramentas de visualização utilizadas pelo professor Paulo.



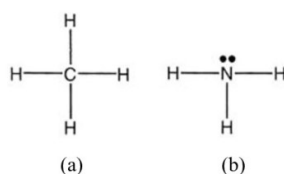
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

¹⁶ Número de coordenação é a soma do número das ligações químicas covalentes mais o número de pares eletrônicos não ligantes ao redor do átomo central.

De acordo com a Figura 25, as ferramentas de visualização utilizadas pelo professor Paulo podem ser classificadas como modelos dinâmicos, como MV e os modelos concretos, representados respectivamente pela simulação e o MMC, ou ainda, modelos estáticos, como os modelos simbólicos, representado pela FM, e a EL. A EL foi classificada com relação a consideração da geometria molecular, podendo ser “sem considerar a geometria” e “considerando a geometria”. Para as estruturas de Lewis que consideram a geometria, foi feita uma distinção com base em sua dimensão, podendo ser “perspectiva 2D” ou “perspectiva 3D”. Portanto, para a estrutura de Lewis sem considerar a geometria, utilizaremos a abreviação “ELSCG” e para a estrutura de Lewis que considera a geometria perspectiva 2D ou perspectiva 3D, utilizaremos as respectivas abreviações “ELCG-2D” e “ELCG-3D”.

Consideramos a estrutura de Lewis como descrito anteriormente na análise das aulas da professora Ariela (item 6.1.2 deste capítulo). Para representar a ELSCG (Figura 26) de uma molécula, é necessário apenas distribuir os átomos ao redor do átomo central sem se preocupar com a repulsão entre os pares de elétrons e sem se preocupar com os ângulos de ligação.

Figura 26 - Representação da estrutura de Lewis sem considerar a geometria da molécula de (a) metano/CH₄ e (b) da amônia/NH₃.

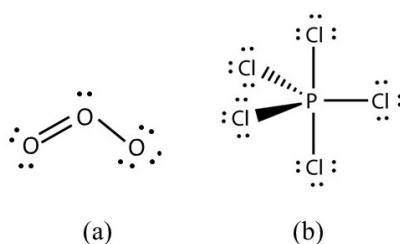


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Para representar a ELCG-2D (ver figura 27a) e a ELCG-3D (ver figura 27b) a repulsão dos pares de elétrons ligantes e não ligantes (quando houver) e, conseqüentemente, o ângulo de ligação, precisam ser considerados. A representação em perspectiva 2D é aquela na qual o desenho apresenta apenas duas dimensões, ou seja, todos os átomos da molécula estão no mesmo plano. A em perspectiva 3D é aquela que, embora desenhada no plano do quadro, fornece uma perspectiva tridimensional. Nesse caso, nem todos os átomos estariam no mesmo plano. Para isso, utiliza-se uma representação de cunha cheia (significa que a ligação está saindo do plano) e cunha tracejada (significa que a ligação está entrando no plano). É

importante ressaltar que para essas duas perspectivas, 2D e 3D, a repulsão entre os pares de elétrons ligantes e não ligantes (quando houver) e, conseqüentemente, o ângulo de ligação, precisa ser considerada.

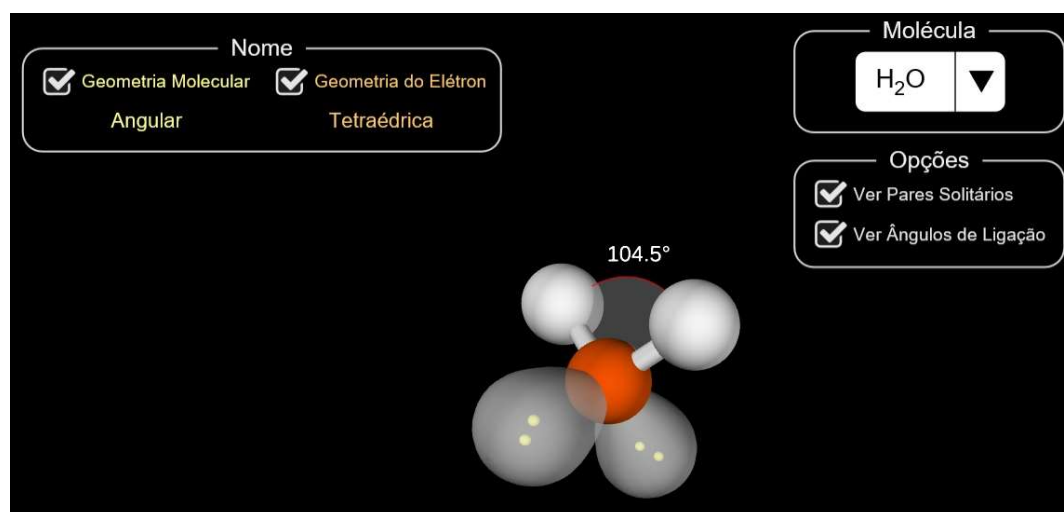
Figura 27 - Representação da estrutura de Lewis considerando a geometria (a) em perspectiva 2D para a molécula ozônio (O_3) e (b) em perspectiva 3D para a molécula pentacloreto de fósforo (PCl_5).



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O MV que o professor utiliza é o mesmo que a professora Ariela usa nas aulas de geometria molecular, o *software* Phet geometria molecular (Figura 28). Como dissemos, essa forma de representação, embora seja bidimensional, fornece uma perspectiva 3D da molécula em estudo.

Figura 28 - Representação da molécula H_2O feita com o simulador Phet geometria molecular.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de PhET *Molecule shapes*, 2018.

Na entrevista, o professor destacou que muitas das simulações disponibilizadas na internet apresentam limitações, o que dificulta seu uso no Ensino Superior. Ele complementa

dizendo que “o ideal é tentar usar com o mínimo ((de simplificação possível)) [...] óbvio que é simplificado/ mas não com tanta simplificação assim” (Fala do professor Paulo na entrevista, novembro de 2017).

Nas aulas do professor, o MMC que utilizado foi aquele feito com varetas de polímero que são devidamente encaixadas em uma espécie de conector. Esse conector apresenta uma geometria determinada, de modo que, ao encaixar as varetas, obtemos uma representação concreta de uma molécula (ver Figura 29). Como dissemos, modelo concreto é uma representação tridimensional e dinâmica, embora seja rígido.

Figura 29 - Representação do modelo molecular concreto utilizado pelo professor Paulo.

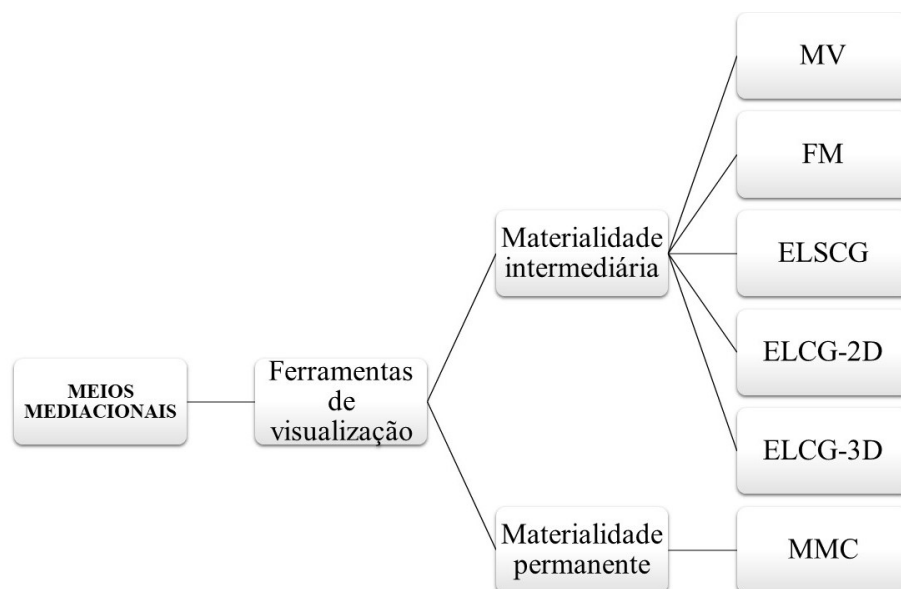


Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada do material utilizado pelo professor Paulo, 2018.

Como já dissemos anteriormente, a FM é aquela que informa quais e quantos átomos constituem determinada molécula, por exemplo, CO_2 , SF_4 ou ainda SOCl_2 .

Segundo a propriedade da materialidade dos instrumentos de mediação (WERTSCH, 1998) e as categorias criadas por Oliveira (2018), apresentamos a classificação (ver Figura 30), em termos da materialidade, das ferramentas de visualização que foram utilizadas por Paulo.

Figura 30 - Classificação das ferramentas de visualização utilizadas pelo professor Paulo em termos de sua materialidade.










Fonte: Adaptado de Oliveira (2018), p.33.

Diante disso, o professor Paulo utilizou ferramentas de visualização com materialidade intermediária, como o MV, FM, ELSCG, ELCG-2D e ELCG-3D, e com materialidade permanente, como o MMC. O caráter material dos meios mediacionais indicam características importantes para a análise de suas *affordances*, o que será discutido no capítulo 7. A seguir, apresentamos a distribuição das ferramentas de visualização nos episódios das aulas analisadas.

6.3.2. A macroanálise das aulas: apresentação do mapa de episódios








Vejamos nos mapas de episódios, apresentados esquematicamente pelas Figuras 31 e 32, quais ferramentas de visualização são utilizadas em cada episódio das aulas. Salientamos que, no Ensino Superior, as aulas são geralmente geminadas, totalizando uma hora, trinta e seis minutos e vinte e seis segundos de duração para a primeira aula, e uma hora, trinta e três minutos e dezessete segundos para a segunda aula.

Figura 31 - Esquema do mapa de episódios da aula 1 do professor Paulo.

	Episódio 1	Episódio 2	Episódio 3	Episódio 4	Episódio 5	Episódio 6	Episódio 7	Episódio 8	Episódio 9	Episódio 10	Episódio 11
	00min:00s – 02min:12s	02min:13s – 03min:15s	03min:16s – 20min:54s	20min:55s – 23min:32s	23min:33s – 35min:44s	35min:45s – 46min:17s	46min:18s – 54min:18s	54min:19s – 1h:03min:13s	1h:03min:14s – 1h:10min:37s	1h:10min:38s – 1h:26min:51s	1h:26min:52s – 1h:36min:26s
Temas	Retrospectiva da última aula	Estrutura de Lewis do ozônio	Polaridade das moléculas	Modelo de repulsão dos pares eletrônicos	NC 2 geometria linear (BeCl ₂ e CO ₂)	NC 3 geometria trigonal plana (BF ₃)	NC 3 geometria em “V” (O ₃)	NC 4 geometria tetraédrica (CF ₄)	NC 4 geometria piramidal trigonal (PF ₃)	NC 4 geometria angular (H ₂ S)	NC 5 geometria Bipirâmide trigonal (PF ₅)
Arranjo											
Ferramentas de visualização		Estrutura de Lewis	Fórmula molecular e estrutura de Lewis	Modelo concreto ressignificado	Fórmula molecular, estrutura de Lewis, modelo concreto e modelo virtual	Fórmula molecular, estrutura de Lewis, modelo concreto e modelo virtual	Fórmula molecular, estrutura de Lewis, modelo concreto e modelo virtual	Fórmula molecular, estrutura de Lewis, modelo concreto e modelo virtual	Fórmula molecular, estrutura de Lewis e modelo concreto	Fórmula molecular, estrutura de Lewis, modelo concreto e modelo virtual	Fórmula molecular, estrutura de Lewis e modelo concreto

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Figura 32 - Esquema do mapa de episódios da aula 2 do professor Paulo.

	Episódio 1	Episódio 2	Episódio 3	Episódio 4	Episódio 5	Episódio 6	Episódio 7	Episódio 8
	00min:00s – 03min:57s	03min:58s – 23min:51s	23min:52s – 41min:54s	41min:55s – 48min:55s	48min:56s – 54min:31s	54min:32s – 1h:05min:00s	1h:05min:01s – 1h:12min:27s	1h:13min:28s – 1h:33min:17s
Temas	NC 5 revisão - geometria Bipirâmide trigonal (PCl ₅)	NC 5 geometria gangorra (SF ₄)	NC 5 geometria em T (ClF ₃)	NC 5 geometria linear (XeF ₂)	NC 6 geometria octaédrica (SF ₆)	NC 6 geometria piramidal de base quadrada (BrF ₃)	NC 6 geometria quadrada (XeF ₄)	Estudando a molécula SOCl ₂
Arranjo								
Ferramentas de visualização	Modelo concreto e modelo virtual	Fórmula molecular, estrutura de Lewis, modelo concreto e modelo virtual	Fórmula molecular, estrutura de Lewis, modelo concreto e modelo virtual	Fórmula molecular, estrutura de Lewis, modelo concreto e modelo virtual	Fórmula molecular, estrutura de Lewis e modelo concreto	Fórmula molecular, estrutura de Lewis, modelo concreto e modelo virtual	Fórmula molecular, estrutura de Lewis e modelo concreto	Fórmula molecular, estrutura de Lewis e modelo concreto

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Analisando as Figuras 31 e 32, percebemos que o professor planeja suas aulas de maneira coerente com o gradativo aumento da complexidade do conteúdo, associado ao tema geometria molecular. Esse fato pode ser observado analisando a linha “arranjo” nos mapas de episódios. Vemos que, desde a representação do arranjo da molécula CO₂ até a representação da geometria da molécula XeF₄, as moléculas vão apresentando arranjos e, conseqüentemente, geometrias cada vez mais complexas. Isso exige que o estudante desenvolva, a cada nova molécula em estudo, habilidades de visualização e representação molecular. Esse fato pode

favorecer o desenvolvimento da competência representacional (KOZMA e RUSSEL, 2005) que está associada com a habilidade de representação molecular.

Para os episódios em que foi trabalhado diretamente o tema geometria molecular, mais especificamente, os episódios 5 ao 11 para a aula 1 e dos episódios 1 ao 7 para a aula 2, percebemos que são utilizadas todas as ferramentas de visualização categorizadas. Como a temática geometria molecular exige que o estudante tenha uma boa percepção espacial da molécula e seja capaz de representá-la em seu caderno, parece que o professor buscou auxiliá-los, fornecendo várias possibilidades de visualização molecular ao utilizar diversas formas de representação das moléculas. Isso mostra a preocupação do professor em trabalhar com representações que aumentam as possibilidades de visualização pelos estudantes. Paulo relatou que, várias vezes em suas aulas, ele mesmo teve dificuldades para compreender as representações moleculares em sua trajetória acadêmica. Com isso, ele incentiva os estudantes a ter atenção quanto a percepção espacial molecular, pois essa habilidade será muito necessária para o estudo e compreensão de outras disciplinas do curso. Em seus estudos sobre habilidades espaciais, Williamson e José (2008) destacaram que a utilização do MV pode melhorar a habilidade de noção espacial dos sujeitos. Segundo Barnea e Dori (1999), essa habilidade está associada a habilidade de visualização. Na entrevista, Paulo destacou:

[...] eu sei que eles têm inorgânica três e em inorgânica três eles usam teoria de grupo para imaginar uma molécula/ traçar planos/ eixo e tudo mais/ eu acho que se eu mostro aquilo ((o modelo virtual)) para ele naquele momento pode ser que quando ele chegar lá/ eu já vi isso e eu posso procurar esse programa e tentar me ajudar/ Então na verdade eu tento fazer essas conexões. (Fala de Paulo na entrevista, novembro de 2017)

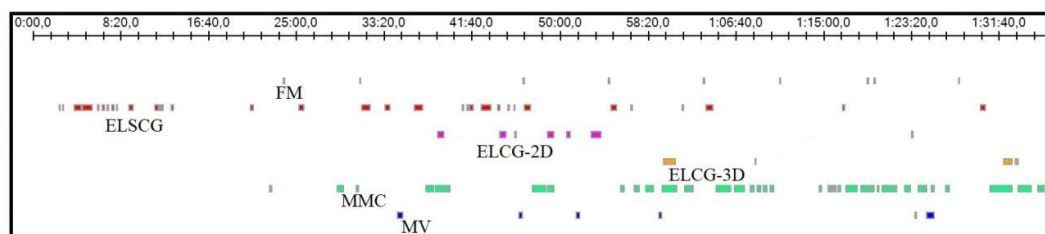
Nesse sentido, o professor parece reconhecer que a disciplina de Química Geral, que é ministrada nos primeiros períodos de vários cursos das áreas Ciências Exatas e da Terra e de Biológicas, inclusive do curso de Química e de engenharia química, deve ser estruturada de modo a considerar e favorecer o desenvolvimento da habilidade de representação e de visualização molecular pelos estudantes para que no futuro, na Química e também em outras disciplinas, essas habilidades possam auxiliá-los no processo de aprendizagem de novos conteúdos.

No próximo tópico, apresentamos os mapas de codificação das aulas analisadas e os gráficos com os percentuais de uso das representações moleculares. Nosso objetivo foi compreender a distribuição e o percentual do uso de cada uma delas durante as aulas.

6.3.3. A macroanálise das aulas: apresentação dos mapas de codificação e os gráficos de percentual de uso das representações moleculares

A partir da construção e análise dos mapas de codificação percebemos que, em vários momentos das aulas, o professor utilizou alguma das ferramentas de visualização. Vejamos nos mapas das aulas 1 e 2, Figuras 33 e 34, as listras de codificação para cada uma das representações.

Figura 33 - Mapa de codificação das representações moleculares da aula 1 do professor Paulo.

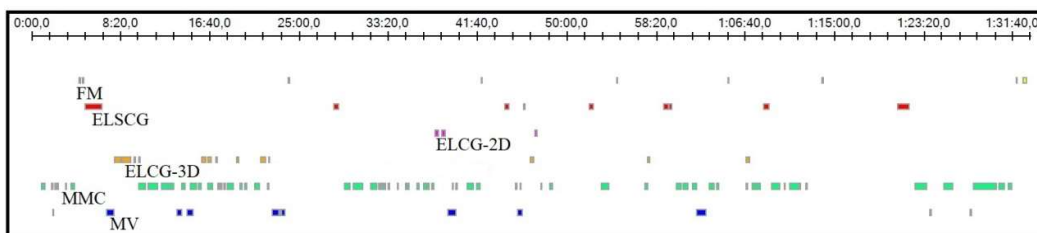


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 33, nos primeiros 23 minutos da aula 1, observamos que o professor utilizou somente a ELSCG. Nesse momento, o professor introduziu conceitos referentes à temática polaridade das moléculas e o modelo de repulsão dos pares eletrônicos.

No restante da aula, Paulo transita entre todas as ferramentas de visualização que ele utiliza. Nesse momento, ele discute a temática geometria molecular, trabalhando com os estudantes moléculas com NC de 2 a 5. A seguir, apresentamos o mapa de codificação da aula 2.

Figura 34 - Mapa de codificação das representações moleculares da aula 2 do professor Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 34, desde o início da aula 2, o professor faz a transição entre as diferentes ferramentas de visualização que ele utiliza. Nessa aula, Paulo falou sobre a temática geometria molecular, trabalhando com os estudantes moléculas com NC de 5 a 6. Ao final da aula foi proposto uma atividade sobre a molécula SOCl_2 .

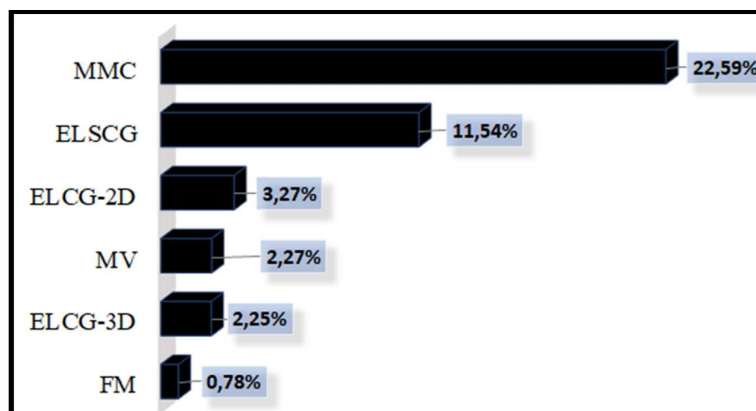
Nessa atividade, foi solicitado aos estudantes que desenhassem a estrutura de Lewis, explicitassem qual seria o arranjo e geometria molecular e, por fim, previssem os possíveis ângulos de ligação para a molécula SOCl_2 . Paulo forneceu um tempo para que os estudantes pudessem fazer a atividade e, em seguida, fez a correção utilizando três representações moleculares: ELSCG, MMC e o MV.

Diante disso, percebemos que, mesmo ao fazer a correção da atividade, o professor Paulo mobilizou ferramentas de visualização para facilitar o entendimento do que é explicado pelos estudantes. Percebemos esse mesmo padrão ao responder a maioria das dúvidas dos estudantes. Esse fato nos faz entender que o uso das ferramentas pelo professor tem se tornado cada vez mais espontâneo, mesmo em situações fora de seu planejamento. Discutimos esse assunto mais detalhadamente no capítulo 7.

Essa atividade do professor se aproxima do que Stieff et al. (2015) propõem em seu artigo ao analisarem a competência representacional (KOZMA e RUSSEL, 2005), ou seja, um conjunto de habilidades que possibilite o estudante utilizar, reflexivamente, uma ferramenta de visualização em diversas situações didáticas. Portanto, atividades como essa podem favorecer o desenvolvimento da habilidade de representação molecular.

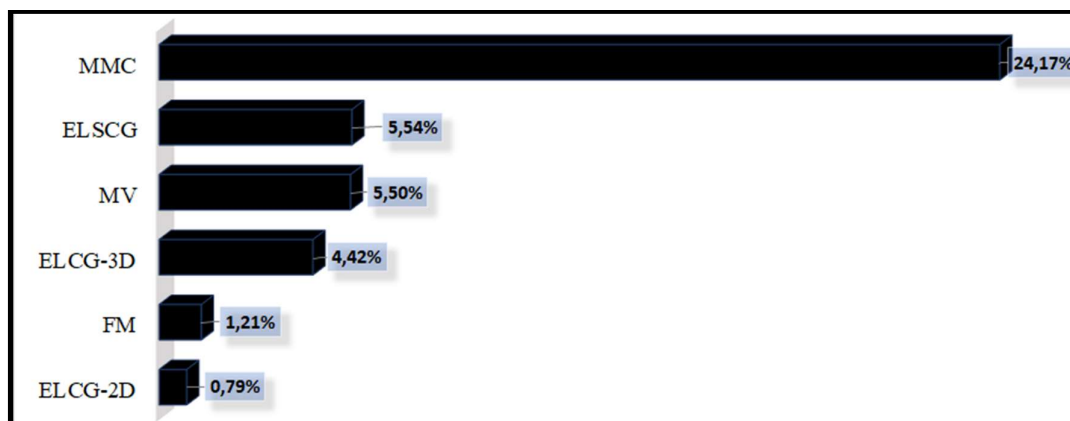
Os mapas de codificação permitiram identificar qual a frequência ou densidade de uso das ferramentas de visualização utilizadas pelo professor e os momentos de transição entre uma representação e outra. Apresentamos a seguir, os gráficos de percentual de uso, com a finalidade de analisar a incidência do uso de cada ferramenta de visualização para essas aulas. Vejamos os gráficos, Figura 35 e 36:

Figura 35 - Gráfico de percentual de uso das representações moleculares da aula 1 do professor Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Figura 36 - Gráfico de percentual de uso das representações moleculares da aula 2 do professor Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

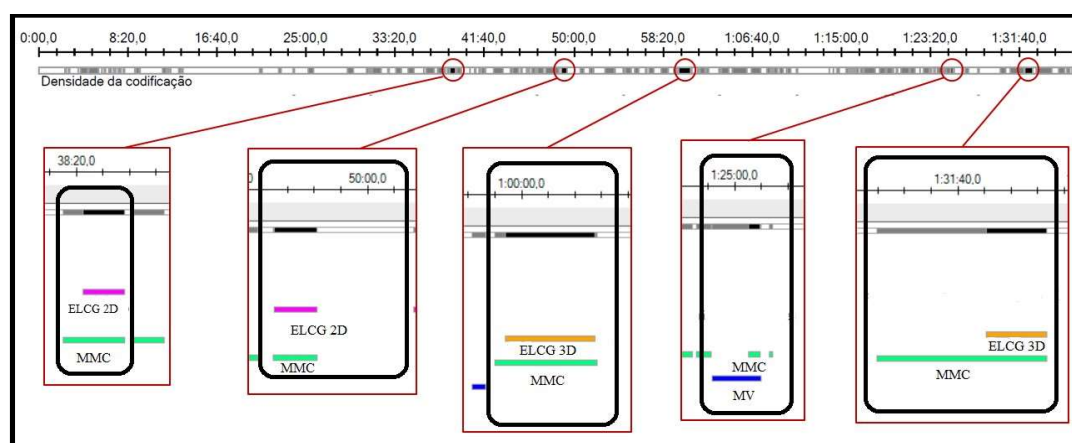
Ao analisar as Figuras 35 e 36, percebemos claramente que a ferramenta de visualização mais utilizada pelo professor é o MMC (22,59% para a aula 1 e 24,17% para a aula 2), sendo que a FM apresenta menor percentual de uso (0,78% para a aula 1 e 1,21% para a aula 2). Diante disso, constatamos que o uso do MMC por Paulo assume um papel de destaque entre suas ações com outras ferramentas de visualização (FM, ELSCG, ELCG-2D, ELCG-3D e MV). De acordo com Stieff et. el (2015), os modelos moleculares concretos apresentam possibilidades de uso bastante particulares, como a fácil manipulação, o que pode facilitar seu uso pelo professor. Além disso, percebemos que o professor apresenta uma afinidade muito grande com o MMC, o que reflete na sua destreza ao manipulá-lo.

Na aula 1, a ferramenta ELSCG apresentou um percentual de 11,54%. Por sua vez, na aula 2, ela foi utilizada com um percentual de 5,54%. Isso se justifica pelo fato de que na aula 1 o professor trabalhou o tema polaridade das moléculas, desenhando vários exemplos no quadro, antes de começar a falar de geometria molecular. Paulo também se debruçou mais na explicação da construção da ELSCG na aula 1, por se tratar do início do tema, necessitando mais tempo para ensinar o “passo a passo” para a representação dessa estrutura.

Para a ELCG-2D, observamos que ocorreu uma redução no percentual de uso da aula 1 para a 2 (3,27% para a aula 1 e 0,79% para a aula 2). Esse fato pode ser explicado tendo em vista a complexidade da geometria molecular em estudo. A maior parte das moléculas trabalhadas na aula 1, apresentavam todas as ligações químicas no plano. Enquanto na aula 2, NC 5 e 6, para quase a totalidade das moléculas estudadas havia ligações químicas que entravam e saíam do plano (ELCG-3D). Por esse motivo, observamos que o uso da ELCG-3D aumentou da aula 1 para a aula 2.

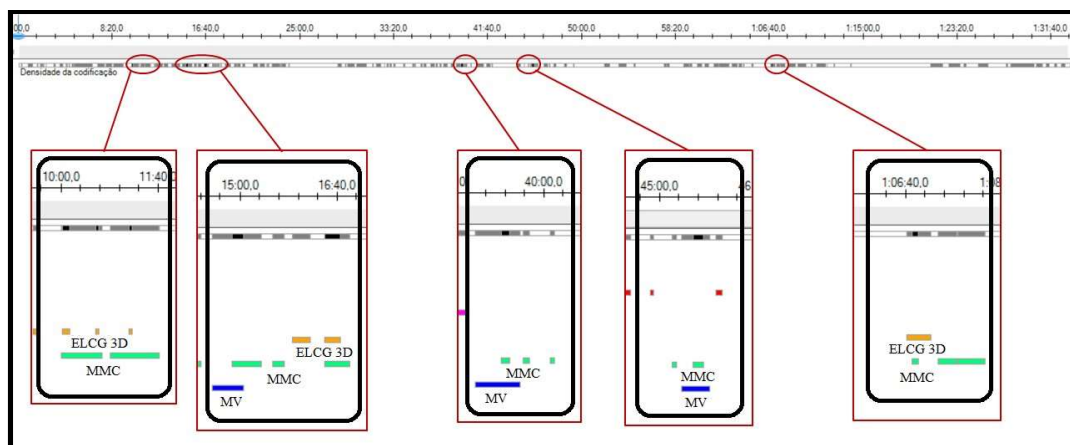
A análise feita no NVivo 11 permitiu ainda perceber as sobreposições do uso de algumas ferramentas de visualização. Vejamos as Figuras 37 e 38 a seguir:

Figura 37 - Mapa de densidade de codificação das representações moleculares para a aula 1 do professor Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Figura 38 - Mapa de densidade de codificação das representações moleculares para a aula 2 do professor Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 37, percebemos que ocorreram 5 sobreposições na aula 1. Analisando a Figura 38, observamos que na aula 2 ocorreram 8 sobreposições. Diante desses dados, podemos dizer que o professor sobrepunha duas formas de representação por vez, sendo que poderia variar entre a utilização do MMC com a ELCG-2D ou ELCG-3D ou ainda com o MV. Mais uma vez o MMC assume um papel de destaque e importância nas aulas. No próximo capítulo, discutimos mais detalhadamente sobre esse assunto, relacionando as sobreposições com as ações do professor Paulo.

No próximo tópico, discorreremos sobre como a transição entre as ferramentas de visualização ocorrem no contexto do planejamento de aula do professor.

6.3.4. Transição entre as representações moleculares utilizadas

Para compreender como o professor transita entre as diferentes ferramentas de visualização, selecionamos um episódio que apresentou a utilização de todas as representações categorizadas e que discutiu uma geometria molecular mais simplificada. Nesse episódio, essas transições foram bem demarcadas pelo professor. Desse modo, garantimos uma análise das discussões iniciais sobre o assunto no sentido de obter uma riqueza de detalhes na transição entre as representações. Diante disso, selecionamos e dividimos o episódio 6 da aula 1, em sub-episódios, considerando como critério para a mudança de episódio a transição entre as ferramentas de visualização. Vejamos a Figura 39:

Figura 39 - Esquema do mapa de sub-episódios referente ao episódio 6 da aula 1 do professor Paulo.

	Episódio 1	Episódio 2	Episódio 3	Episódio 4	Episódio 5	Episódio 6	Episódio 7
	35min:53s – 36min:08s	36min:09s – 37min:15s	37min:16s – 38min:22s	38min:23s – 39min:00s	39min:01s – 40min:44s	40min:45s – 45min:59s	46min:00s – 46min:17s
Representação molecular	BF_3						
Temas	Estudando a molécula BF_3	Desenhando a molécula	Estudando os ângulos de ligação	Desenhando a molécula com geometria adequada	Definindo o nome da geometria molecular	Polaridade das ligações e da molécula BF_3	Visualizando a molécula com o simulador
Ferramenta de visualização principal	Fórmula molecular	Estrutura de Lewis sem considerar a geometria	Modelo molecular concreto	Estrutura de Lewis considerando a geometria em perspectiva 2D	Modelo molecular concreto	Estrutura de Lewis considerando a geometria em perspectiva 2D	Modelo virtual

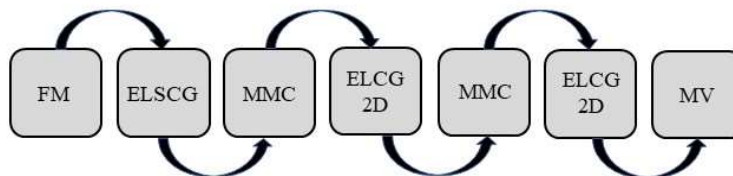
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O professor iniciou o episódio apresentando para os estudantes a fórmula molecular do BF_3 . Em seguida, desenhou no quadro a ELSCG. Nesse momento foi feita a transição da representação da estrutura de Lewis desenhada no quadro para o modelo concreto. Com o MMC em mãos, o professor destaca os ângulos de ligação (120 graus) dessa molécula. Como a molécula não apresenta pares de elétrons não ligantes, a única repulsão existente ocorre entre os pares de elétrons compartilhados. Portanto, a estrutura mais estável para a molécula seria aquela representada pelo MMC. Então, o professor transita entre o MMC e a ELCG-2D. Utilizando a ELCG-2D, o professor faz a análise da polaridade das ligações e da molécula. No sub-episódio 5 da Figura 37, o professor, juntamente com os estudantes, define a geometria da molécula (trigonal plana). Por fim, mostra a molécula BF_3 , por meio do MV, destacando os ângulos de ligação.

Parece que o professor, ao iniciar sua aula de geometria molecular, introduziu exemplos de moléculas mais simples para que, aos poucos, os estudantes tenham condições de compreender outras estruturas mais complexas. Cooper et al. (2012) seguiu uma lógica semelhante a essa ao implementar o currículo CLUE, trazido como, “Química, Vida, o Universo e Todas as coisas”, na escola básica e obteve resultados satisfatórios em termos da aprendizagem dos estudantes.

Ao analisarmos, ainda pela óptica da macroanálise, essas transições entre as representações moleculares, percebemos que existe uma complementaridade entre elas e existe uma sequência de transição definida. Essa sequência, possui a seguinte ordenação (Figura 40):

Figura 40 - Representação da sequência de transição das representações moleculares complementares feitas pelo professor Paulo no episódio 6 da aula 1.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Assim como fizemos para a sequência de transição da professora Ariela, denominamos esse movimento que o professor faz de “sequência de transição das representações moleculares complementares”. Ao contrário do que foi evidenciado nos estudos de Velázquez-Marcano et al. (2004), a sequência de apresentação das ferramentas de visualização é relevante para as aulas de polaridade e geometria molecular do professor. Para os outros episódios nos quais o professor versou sobre o tema geometria molecular, aconteceu algo muito semelhante ao que identificamos nesse episódio. Isso porque, ao ser questionado sobre o seu planejamento e a ordenação de sua apresentação das representações moleculares em suas aulas, o professor relatou:

eu tento montar uma sequência que eu imagino que seria mais fácil para eles ((estudantes)) então eu acho que o objetivo [...] é tornar o ensino mais acessível a eles ((estudantes)). (Fala do professor Paulo na entrevista, novembro de 2017)

Com essa fala percebemos que o professor planeja o uso de cada representação molecular para suas aulas e que atribui um objetivo específico para cada uma dessas representações. Discutimos mais detalhadamente sobre o objetivo das ferramentas de visualização no próximo capítulo.

Vejamos o que Paulo nos relatou sobre a utilização de várias estratégias de visualização molecular e sobre essa sequência de transição entre as representações complementares.

Na verdade eu acho que eu fui acrescentando aos poucos / então a primeira coisa logo bem no início/ Eu praticamente não usava nenhum modelo nem animações ((quer dizer simulação)) aí quando eu vi que o modelo ajudava eu fui incorporando/ as simulações foram os últimos mas a minha visão é depois que eu expliquei tudo/ expliquei a fórmula da molécula/ falei de ângulos para fechar aquilo eu vejo que a simulação é algo que ajuda bastante então é exatamente a ideia é que ela seja fechamento de cada tópico que eu falo

O fato de o professor incorporar várias ferramentas de visualização em suas aulas, caracteriza seu estilo. Além disso, reforça a ideia do preparo e dedicação para garantir um ensino mais coerente com o que é exigido por ele nas avaliações. No próximo capítulo, discutimos detalhadamente sobre as ações do professor ao transitar pelas diferentes formas de representação molecular.

6.4. Considerações Finais do Capítulo

De acordo com a apresentação dos dados, por meio dos mapas de episódios, mapas de codificação, diagrama e gráficos, identificamos que os dois professores apostam no uso integrado das diferentes ferramentas de visualização para auxiliar os estudantes na compreensão do nível submicroscópico. Há que se notar que a professora Ariela explicita sua preferência pelo uso dos modelos virtuais e que o professor Paulo apresenta uma afinidade grande com o modelo molecular concreto.

As análises dos dados permitiram identificar que os professores planejam como e quando as ferramentas de visualização serão utilizadas em suas aulas. Portanto, a ordem em que elas aparecem é um fator essencial para alcançar os objetivos propostos pelos professores, mesmo que elas se apresentem como idiossincráticas.

O planejamento da professora Ariela é versátil, visto que percebemos padrões diferentes para as aulas de polaridade em comparação com as aulas de geometria molecular. Para as aulas 2 e 3, a professora contemplou a participação ativa dos estudantes o que configurou um atividade próxima da modelagem. Consideramos que, tanto o planejamento da professora sobre polaridade das moléculas quanto o planejamento sobre geometria molecular, podem ter auxiliado os estudantes a visualizarem as entidades submicroscópicas da química.

O planejamento do professor Paulo contemplou por uma lado, um treinamento intenso sobre desenhar a estrutura de Lewis das moléculas e ao fazer a tradução de uma

representação em outra, ele pode ter favorecido o desenvolvimento da habilidade de representação pelos estudantes. Por outro, ao utilizar o recurso da sobreposição das ferramentas de visualização, ele pode ter favorecido o desenvolvimento da habilidade de visualização molecular.

Notamos a predominância do uso do modelo molecular concreto nas aulas dos dois professores, o que indica que as possibilidades dessa forma de representação são únicas (STIEFF et al. 2016) para que o estudante desenvolva habilidades de representação e visualização molecular.

No próximo capítulo, apresentamos a microanálise e buscamos detalhar e explicitar as ações dos professores analisados ao agirem com as ferramentas de visualização, indicando as principais funções das representações utilizadas e o esforço que os professores fazem para favorecer a visualização molecular.

7. UM OLHAR MAIS ESPECÍFICO: A MICROANÁLISE DAS AULAS DA PROFESSORA ARIELA E DO PROFESSOR PAULO

Neste capítulo apresentamos a microanálise de 1 episódio da aula de cada professor. Seleccionamos um episódio no qual aconteceu a utilização de um número máximo de ferramentas de visualização, na sequência de transição das representações complementares. Além disso, seleccionamos o episódio que contemplasse uma geometria molecular mais complexa para incitar maiores discussões e que fossem feitas transições entre as formas de representação bem demarcadas pelos professores.

Nosso objetivo, com este capítulo, foi investigar quais as limitações e possibilidades de uso de cada representação, como os professores estabelecem a sequência de transição das representações complementares e quais são as estratégias que eles utilizam para favorecer o desenvolvimento das habilidades de visualização e representação molecular.

Este capítulo está dividido em três partes: (i) a microanálise do episódio da aula da professora Ariela, (ii) a microanálise do episódio da aula do professor Paulo e (iii) as considerações finais do capítulo.

7.1. A microanálise: Uma análise das ações da professora Ariela ao agir com as diferentes ferramentas de visualização

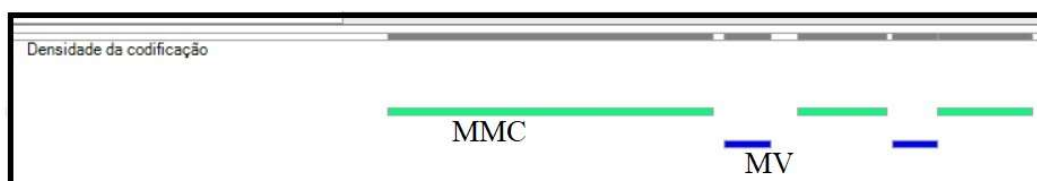
Para a microanálise, seleccionamos o episódio 7 da aula 3 da professora Ariela. Nesse episódio, a professora faz a avaliação e correção do modelinho dos estudantes sobre a molécula amônia (NH_3).

Para isso, a professora transita entre as diferentes ferramentas de visualização que ela utilizou em suas aulas. Nos tópicos a seguir discutimos sobre os (i) aspectos gerais do episódio; (ii) as limitações e possibilidades de uso das representações moleculares utilizadas no episódio e (iii) as estratégias de Ariela para estabelecer a sequência de transição das representações complementares e favorecer o desenvolvimento das habilidade de visualização e representação molecular.

7.1.1. Aspectos gerais do episódio

Para uma visão geral desse episódio e descrição da microanálise, consideramos interessante fazer uma espécie de recorte do mapa de codificação e trazer apenas a codificação do episódio 7 da aula 3, como mostrado na Figura 41.

Figura 41 - Mapa de codificação referente ao episódio 7 da aula 3 da professora Ariela.

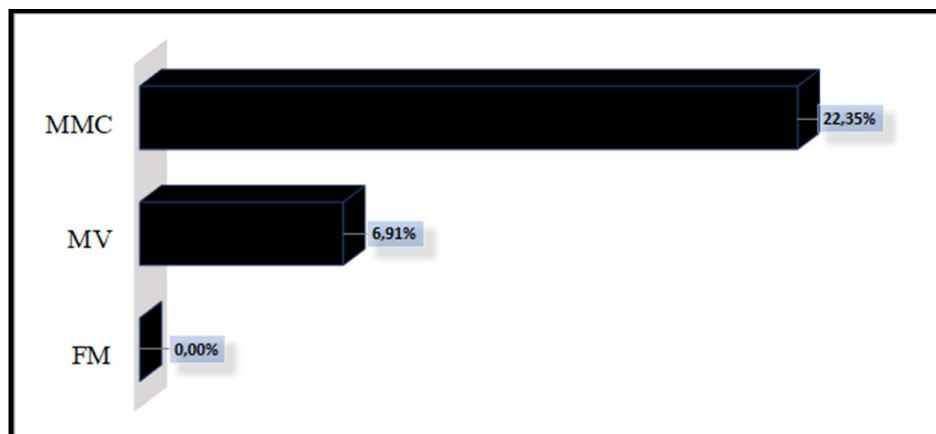


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O mapa de codificação (Figura 41) permitiu identificar as transições entre as ferramentas de visualização e quando elas aparecem no decorrer do episódio. Podemos observar que foram utilizadas o MMC e o MV. A FM já havia sido explicitada anteriormente e a professora não destacou essa representação da molécula nesse episódio. Ela explicitou a FM (NH_3) apenas verbalmente. Destacamos que a transição que ocorre entre o MMC e MV indica uma estratégia da professora, ao longo da aula de geometria molecular analisada, como apresentado no capítulo anterior.

Para ter uma ideia quantitativa desses dados, apresentamos o gráfico da Figura 42, que apresenta os percentuais de uso das ferramentas de visualização ao longo do episódio analisado (episódio 7 da aula 3). O tempo total do episódio foi de 07 minutos e 14 segundos.

Figura 42 - Gráfico de percentual de uso das representações moleculares do episódio 7 da aula 3 da professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 42, percebemos que o MMC apresenta o maior percentual de uso, 22,35%, enquanto que o MV apresenta 6,91% de uso. Como dissemos, a FM não foi utilizada nesse episódio. Esses percentuais confirmam a centralidade do uso do MMC, tanto nesse episódio quanto na análise total das aulas da professora, como exposto no capítulo da macroanálise.

Apesar disso, o uso do MV apresenta uma importância singular na aula da professora Ariela. Nos tópicos que se seguem, discutimos sobre as *affordances* dessas ferramentas de visualização e como as transições entre elas ocorreram nesse episódio.

7.1.2. As limitações e possibilidades de uso das ferramentas de visualização utilizadas no episódio

Retomamos uma das propriedades que Wertsch (1998), com base em Gibson (1969), enuncia na perspectiva da Teoria da Ação Mediada, as *affordances* ou potencialidades. Segundo Wertsch (1998) os instrumentos de mediação podem tanto possibilitar quanto limitar a ação. Isso se justifica pelo fato de que cada instrumento de mediação apresenta suas próprias particularidades. Nesse sentido, as ferramentas de visualização apresentam possibilidades e limitações de uso próprias.

Para compreender as *affordances* das ferramentas utilizadas pela professora, se faz necessário destacar o tipo de ferramenta utilizada e os objetivos de uso de cada uma. Nesse episódio a professora utilizou somente ferramentas de visualização dinâmicas (MMC e o

MV). No decorrer do episódio, a professora, ao agir com essas ferramentas, atribuiu significado a cada uma delas. Vejamos qual foi o objetivo de uso dessas ferramentas de visualização (Quadro 3):

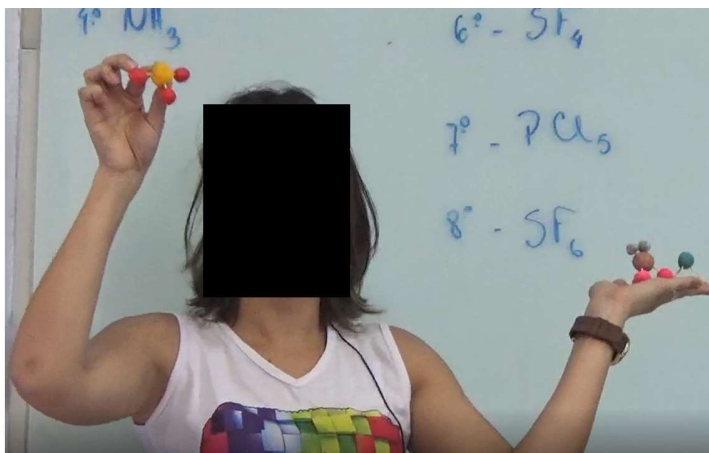
Tabela 3 - Objetivo(s) de uso das ferramentas de visualização dinâmicas do episódio 7 da aula 3 da professora Ariela.

REPRESENTAÇÃO	OBJETIVO(S) DE USO
MMC	Foi utilizado para representar a geometria e o arranjo molecular da amônia e para comparar a estrutura da molécula do tetracloreto de carbono com a molécula amônia.
MV	Foi utilizado como uma ferramenta de correção da estrutura molecular da amônia, elaborada pelos estudantes, e para visualizar os ângulos de ligação, os pares de elétrons livres e o arranjo molecular.

Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Por meio da utilização do MMC foi possível perceber as ideias dos estudantes sobre a estrutura molecular da amônia (Figura 43) e sua semelhança com a estrutura molecular do tetracloreto de carbono (Figura 44).

Figura 43 - Representação da amônia por meio do MMC elaborado pelos estudantes na aula 3 da professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada da filmagem da aula da professora Ariela, 2018

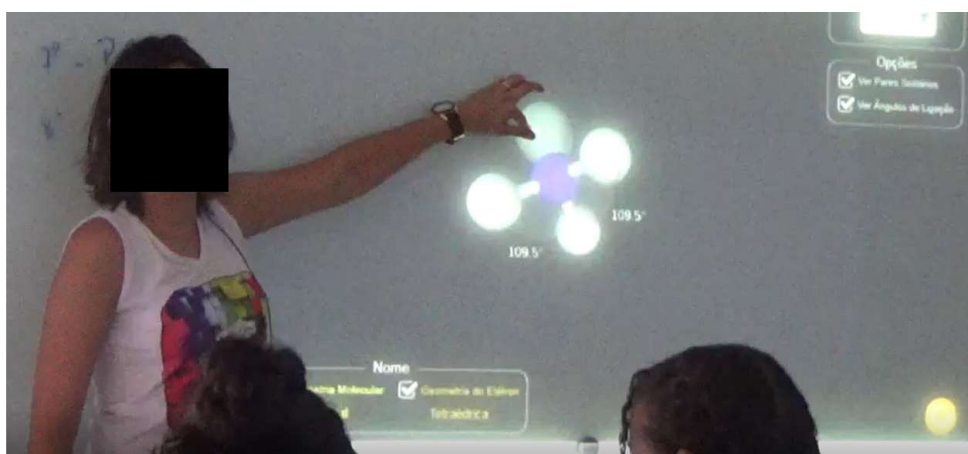
Figura 44 - Professora Ariela ao comparar a estrutura da molécula tetracloreto de carbono com a estrutura da molécula amônia.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada da filmagem da aula da professora Ariela, 2018.

O MV permitiu visualizar o arranjo molecular da amônia em uma perspectiva tridimensional, girar a molécula e verificar qual dos modelinhos construídos pelos estudantes foi o mais próximo da representação mais aceita pela ciência (Figura 45).

Figura 45 - Professora Ariela ao a estrutura da molécula amônia por meio do modelo virtual.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada da filmagem da aula da professora Ariela, 2018.

A dinamicidade do MMC oferece a possibilidade de alterar as posições das ligações químicas, girar a molécula e até representar o par de elétrons não ligantes dela. Apesar do MMC ser tridimensional e poder ser manipulado, observamos que os ângulos de ligação podem aparecer com grandes distorções, visto que estão sendo construídos pelos estudantes. Além disso, quando a professora faz a avaliação do MMC, observamos que eles são pequenos para que ela possa manipular e destacar os aspectos necessários. Algumas vezes, percebemos que a própria mão da professora encobre o MMC, impedindo que ele seja visto pelos estudantes.

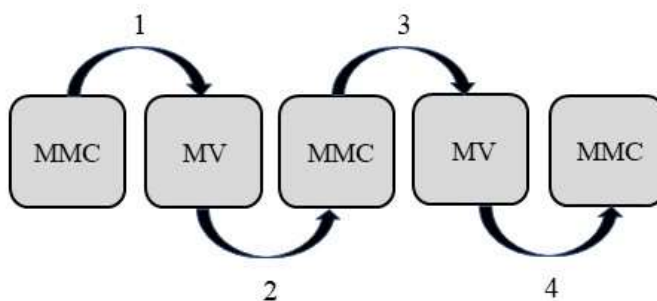
Nesse sentido, o uso do MV complementa o uso do MMC por apresentar os ângulos de ligação bem definidos, além da dimensão de sua projeção no quadro que é de fácil visualização pelos estudantes. Por outro lado, o uso do MV apresenta as suas próprias limitações, como a incapacidade de ser movido pela sala de aula ou ainda o fato de ser manipulado apenas com o mouse do computador, o que limita o espaço para agir com essa ferramenta de visualização. Essas limitações do MV podem ser minimizadas com o uso do MMC.

Diante disso, entendemos que ao integrar o uso das diferentes ferramentas de visualização, os professores podem diminuir as limitações de cada modelo, potencializando positivamente o processo de ensino e de aprendizagem da química escolar. A seguir, discutimos as estratégias que Ariela utiliza para estabelecer a sequência de transição entre as representações complementares e favorecer o desenvolvimento das habilidades de visualização e representação molecular.

7.1.3. As estratégias de Ariela para estabelecer a sequência de transição das representações moleculares complementares e favorecer o desenvolvimento das habilidade de visualização e representação molecular

Para alcançar o objetivo do episódio, avaliar e corrigir o MMC dos estudantes para a molécula NH_3 , a professora Ariela segue uma sequência de transição entre as representações moleculares complementares como mostrado na Figura 46.

Figura 46 - Sequência de transição entre as representações moleculares complementares utilizadas no episódio 7 da aula 3 da professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a figura 46, percebemos que ocorreram 4 transições entre as representações moleculares nesse episódio. As transições acontecem para dar sequência às etapas de avaliação dos modelinhos dos estudantes. As ações ou estratégias utilizadas pela professora ao agir com as ferramentas de visualização, nas diferentes situações da sequência de transição, foram importantes para favorecer oportunidades de desenvolvimento das habilidades de visualização e/ou habilidades de representação molecular. Vejamos quais foram essas estratégias.

Após ter apresentado as três possíveis estruturas para a molécula amônia (ver Figura 43), a professora destacou as diferenças entre elas. Um dos MMC se apresentou plano e os outros dois tridimensionais (com e sem elétrons não ligantes). O trecho referente a esse momento está transcrito a seguir:

Professora: Entre essas duas aqui ((os modelinhos tridimensionais com e sem elétrons não ligantes))/ vocês acham que elas são iguais?

Estudantes: Não.

Estudante 1: Sim gente.

Estudantes: ((inaudível)).

Professora: Por que essa aqui (modelinho sem elétrons não ligantes) tem um ângulo maior aqui em cima e essa aqui (modelinho com elétrons não ligantes) não tem?/ Essa aqui/ a gente não está representando os elétrons não ligantes/ mas eles estão aqui/ eles só não estão sendo representados.

Estudante 1: É só imaginário.

Professora: certo? É só imaginário. Esse aqui a gente tá representando ((o par de elétrons não ligantes))/ a geometria molecular é a mesma/ tá vendo? ((...)) Já que essas duas são iguais ((as estruturas tridimensionais com e sem elétrons não ligantes)). ((...)) eu tenho essa ((a estrutura plana)) e essa ((a estrutura tridimensional com elétrons não ligantes))/ essa é plana ((a estrutura tridimensional com elétrons não ligantes))?

Estudantes: Não.

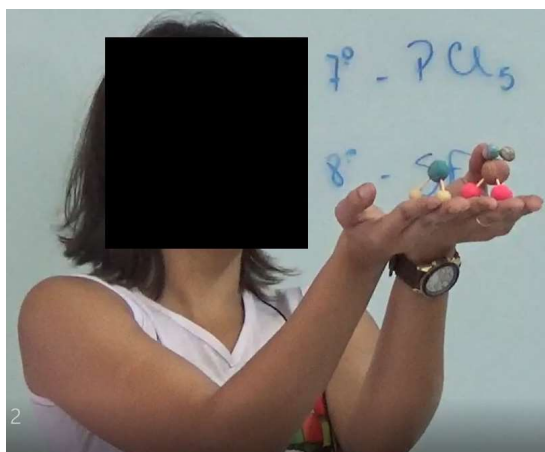
Professora: E essa é plana ((a estrutura plana))?

estudantes: Sim.

Professora: Então eu tenho uma que é 3D e uma que é plana/ mas vamos ver qual está certa.

Percebemos que a professora guiou os estudantes para visualizarem a diferença entre as duas estruturas tridimensionais construídas. Para isso, ela ergueu os modelinhos e questionou os estudantes, sobre a diferença nos ângulos de ligação da parte superior (o que seria o vértice da pirâmide), como representado pela Figura 47.

Figura 47 - Estruturas tridimensionais, com e sem elétrons não ligantes, construídas pelos estudantes na aula 3 da professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada da filmagem da aula da professora Ariela, 2018.

Após chegarem a conclusão de que as estruturas tridimensionais representadas são as mesmas, diferindo apenas na representação ou não do par de elétrons não ligantes, a professora ergueu dois modelos para avaliação: o primeiro, plano, e o segundo, tridimensional (Ver Figura 48).

Figura 48 - Representação das estruturas da molécula amônia, plana e tridimensional, construídas pelos estudantes na aula 3 da professora Ariela.

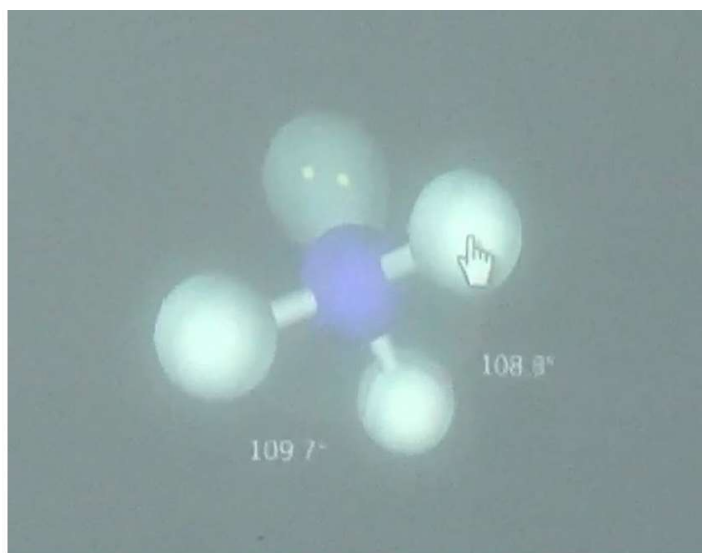


Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada da filmagem da aula da professora Ariela, 2018.

Entendemos que esse momento inicial da sequência de transição foi importante para avaliar os modelinhos construídos, possibilitando que os estudantes visualizassem as diferenças entre eles. Consideramos que essa estratégia de análise do MMC pode ter favorecido o desenvolvimento da habilidade de visualização molecular, visto que as diferenças entre os MMC's analisadas envolve aspectos espaciais da molécula. Tendo em vista que foram os estudantes que elaboraram o MMC, podemos dizer que essa estratégia também pode ter favorecido o desenvolvimento da habilidade de representação molecular, devido a noção da dimensão 2D e 3D das estruturas moleculares que foi trabalhada nesse episódio. Estabelecidas essas diferenças, a professora transita para o MV afim de fazer a correção das estruturas apresentadas (transição 1).

Ao agir com a simulação (ver Figura 49), a professora mostrou para os estudantes o arranjo molecular da amônia, destacou que sua estrutura não é plana e que a geometria, para essa molécula, é denominada piramidal. Podemos dizer que essa estratégia de correção do MMC, por meio da utilização do MV, pode ter favorecido o desenvolvimento da habilidade de visualização, visto que o estudante precisou comparar aspectos espaciais do MMC com o MV. Feito a correção do MMC, a professora transitou novamente para o MMC (transição 2).

Figura 49 - Manipulação do MV, molécula amônia, pela professora Ariela.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada da filmagem da aula da professora Ariela, 2018.

Nesse momento, a professora comparou o MMC do tetracloreto de carbono com o MMC da amônia (ver Figura 44), para verificar suas semelhanças e diferenças. A molécula do tetracloreto de carbono havia sido estudada no episódio 5 da aula 3 da professora Ariela.

Apresentamos a transcrição desse trecho:

Professora: Isso aqui ((MMC)) é o CCl_4 , ela é tetraédrica/ ela é parecida com isso aqui ((MMC da amônia))?

Estudantes: É. ((alguns respondem não))

Professora: Olha a base.

Estudantes: A base é igual.

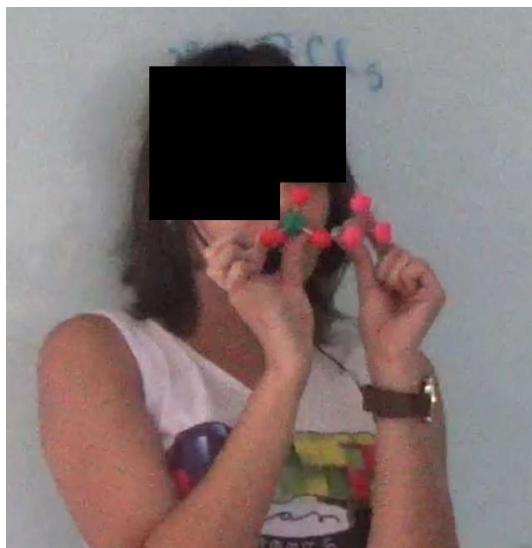
Professora: E em cima? qual é a diferença?

Estudantes: os elétrons ((inaudível))

Professora: A tetraédrica ((CCl_4)) não tem elétrons não ligantes/ mas tem uma ligação// a piramidal ((NH_3)) não tem a ligação/ ela tem os elétrons não ligantes.

Notamos que, a princípio, alguns estudantes não perceberam as semelhanças entre as representações da molécula CCl_4 e NH_3 . Para que os estudantes pudessem visualizar essas semelhanças espaciais a professora destacou regiões específicas das moléculas, por exemplo, a sua base (ver Figura 50). Ao comparar as duas estruturas moleculares, a professora pode ter possibilitado o desenvolvimento da habilidade de visualização molecular. Isso se justifica pelo fato de que a professora destacou aspectos espaciais e estruturais das moléculas em análise.

Figura 50 - Análise, feita pela professora Ariela, da base das moléculas tetracloreto de carbono e amônia.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada da filmagem da aula da professora Ariela, 2018.

Após comparar as duas estruturas por meio do MMC (tetracloro de carbono e amônia), Ariela usou o MV para destacar o arranjo molecular comum dessas moléculas e a diferença da geometria molecular (transição 3). Ariela enfatizou que nos livros didáticos, geralmente, os estudantes verão somente a geometria molecular das substâncias. Então ela transita para o MMC (transição 4) e mostra novamente a estrutura da amônia sem o par de elétrons não ligantes.

Consideramos, mais uma vez, que o desenvolvimento da habilidade de visualização molecular pode ter sido favorecida, tanto pelo uso do MV para enfatizar o arranjo molecular da amônia, quanto pelo uso do MMC ao enfatizar a geometria molecular da amônia (ver Figura 51).

Figura 51 - Representação da geometria molecular da amônia por meio do MMC construído na aula 3 da professora Ariela.

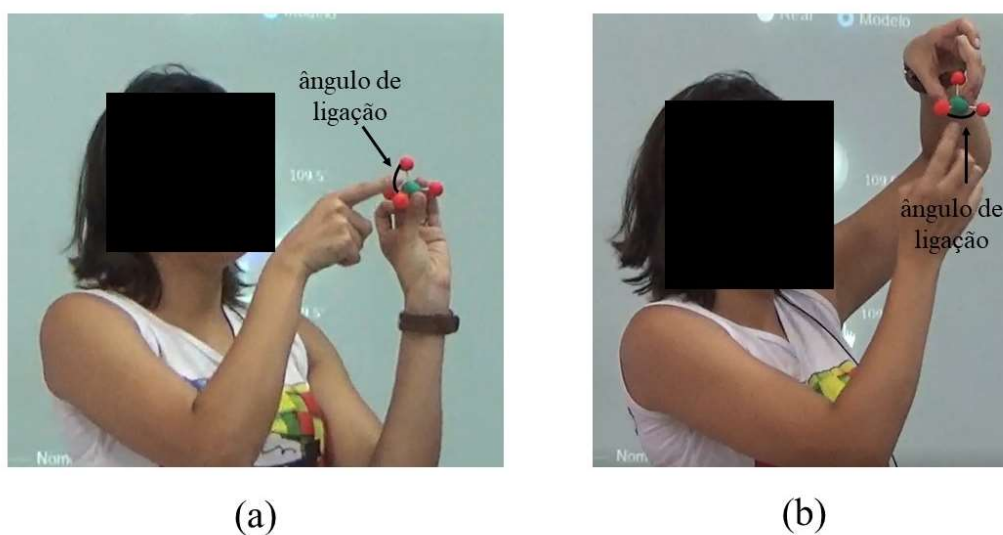


Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada da filmagem da aula da professora Ariela, 2018.

Outras estratégias que Ariela utiliza nos chamou a atenção, embora não apareçam nesse episódio. Para complementar nossas análises, consideramos importante apresentar essas ações da professora que também podem desenvolver as habilidades de visualização e/ou a habilidade de representação molecular pelos estudantes.

A professora explicou, para os estudantes, que as ligações da molécula CCl_4 são equidistantes uma da outra, e, portanto, devem apresentar ângulos de ligação iguais. Então ela agiu com o MMC e mostrou que os ângulos de ligação do modelinho construído pelos estudantes estavam bem diferentes, com ângulos bem menores do que outros. Veja a Figura 52, a seguir:

Figura 52 - Professora Ariela ao estabelecer a diferença nos ângulos de ligação da molécula CCl_4 - (a) ângulo menor e (b) ângulo maior.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada da filmagem da aula da professora Ariela, 2018.

Acreditamos que, ao explicitar os ângulos de ligação, a professora esteja contribuindo para um possível desenvolvimento da habilidade de visualização. Como a própria professora destaca, em vários momentos de sua aula, o ângulo de ligação é um conceito essencial para a compreensão da geometria e arranjo molecular, o que indica a importância da visualização dos ângulos pelos estudantes.

Observamos que, em algumas ocasiões, a professora sobrepõe o MMC com o MV (ver Figura 53) para mostrar que a representação é a mesma, porém, utilizando ferramentas de visualização diferentes.

Figura 53 - Professora Ariela ao sobrepor o MMC ao MV para a molécula XeF₂.



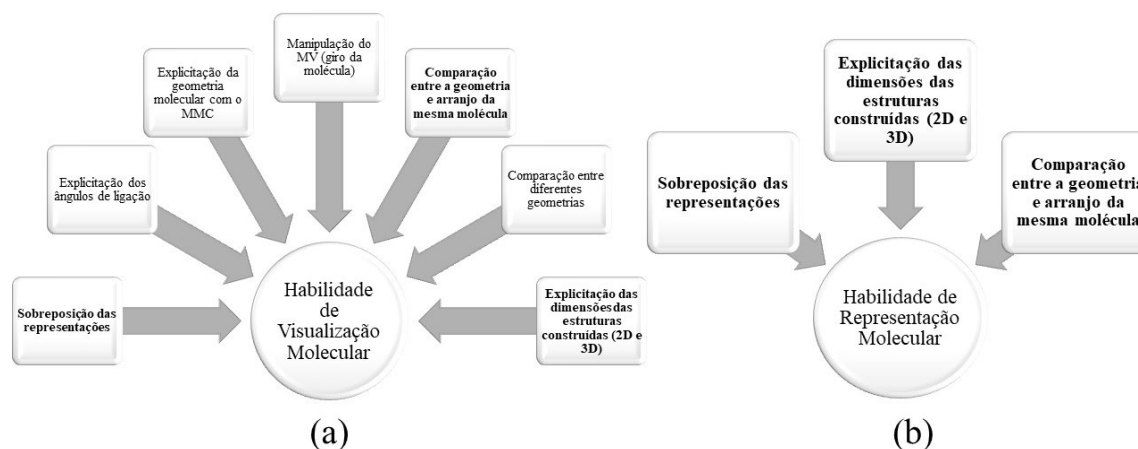
Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada da filmagem da aula da professora Ariela, 2018.

Em alguns momentos da aula sobre geometria molecular, observamos que os próprios estudantes sobrepueram o MMC e o sobrepunha ao MV projetado no quadro, para fazer a avaliação.

Esse fato reforça a importância que a sobreposição entre as ferramentas de visualização (MMC e MV) teve para a avaliação do modelo dos estudantes. Nesse sentido, ao utilizar a estratégia da sobreposição das ferramentas de visualização, a professora pode ter possibilitado que os estudantes desenvolvessem aspectos da habilidade de visualização molecular e também a habilidade de representação molecular. A habilidade de visualização pode ter sido desenvolvida pelo estudante quando ele comparou as representações e a habilidade de representação pode ter sido desenvolvida pelo estudante quando ele corrigiu e reelaborou seu modelinho molecular.

A Figura 54 sistematiza as estratégias ou ações da professora que podem ter favorecido o desenvolvimento das habilidades de visualização e de representação molecular pelos estudantes.

Figura 54 Ações da professora Ariela e as habilidades de visualização e representação molecular.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Observamos que algumas estratégias utilizadas pela professora podem favorecer o desenvolvimento tanto da habilidade de visualização quanto o da habilidade de representação molecular: (i) sobreposição das representações, (ii) comparação entre a geometria e arranjo da mesma molécula e (iii) explicitação das dimensões das estruturas construídas (3D e 2D). As outras estratégias identificadas estão relacionadas somente com o desenvolvimento da habilidade de visualização molecular: (i) explicitação dos ângulos de ligação, (ii) explicitação da geometria molecular com o MMC, (iii) manipulação do MV (giro da molécula) e (iv) comparação entre diferentes geometrias.

Nesse contexto, podemos dizer que, para dar significado ao que é discutido em sala de aula, a professora fez uso de diferentes ferramentas de visualização. Esse fato mostra a tensão existente entre o professor (agente) e a ferramenta de visualização (instrumento), propriedade denominada por Wertsch (1998) como “Tensão irreduzível”.

Quando se utiliza e explora diferentes ferramentas de visualização, acreditamos que o professor de química pode possibilitar várias oportunidades de desenvolvimento das habilidades de visualização e/ou habilidades de representação molecular, tão importantes para o entendimento da química. A seguir explicitamos as análises das estratégias utilizadas pelo professor Paulo ao agir com as diferentes ferramentas de visualização em suas aulas de polaridade e geometria molecular.

7.2. A microanálise: Uma análise das ações do professor Paulo ao agir com as diferentes ferramentas de visualização

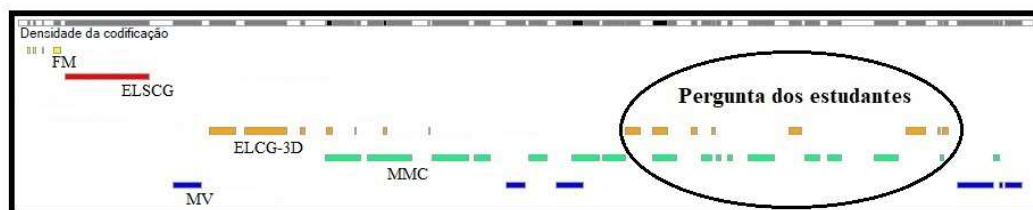
Para a microanálise, selecionamos o episódio 2 da aula 2 do professor Paulo. Nesse episódio, o professor deu sequência à construção da tabela que correlaciona o número de coordenação do átomo central, o arranjo e a geometria molecular. O objetivo desse episódio foi reconhecer o arranjo e a geometria da molécula SF₄.

Para isso o professor transitou entre as diferentes ferramentas de visualização que ele utilizou nesse episódio. Nos tópicos a seguir discutimos sobre os (i) aspectos gerais do episódio, (ii) as limitações e possibilidades de uso das representações moleculares utilizadas no episódio, (iii) as estratégias de Paulo para estabelecer a sequência de transição das representações complementares e favorecer o desenvolvimento das habilidade de visualização e representação molecular e (iv) análise das ações do professor ao responder as dúvidas dos estudantes.

7.2.1. Aspectos gerais do episódio

Para termos uma visão geral desse episódio e a partir daí descrever a microanálise, consideramos interessante fazer uma espécie de recorte do mapa de codificação e trazer apenas a codificação do episódio 2, como mostrado na Figura 55.

Figura 55 Mapa de codificação referente ao episódio 2 da aula 2 do professor Paulo.



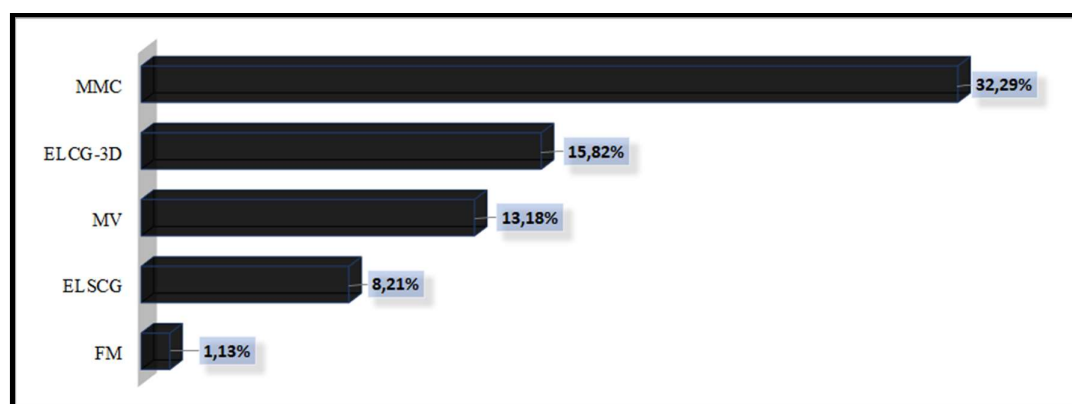
Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O mapa de codificação (Figura 55) permitiu identificar as transições entre as ferramentas de visualização e quando elas aparecem no decorrer do episódio. Podemos observar que, no início do episódio, o professor utiliza a FM e, em seguida, transita para a ELSCG, MV, ELCG-3D, MMC, MV, MMC, e MV.

Por meio da densidade de codificação percebemos a sobreposição das representações, que aparecem nas marcações em preto no alto do mapa, na listra ou linha denominada densidade de codificação, em alguns pontos da aula. Nesse episódio, observamos 4 sobreposições, sendo 3 delas utilizando o MMC e a ELCG- 3D e 1 utilizando o MMC e o MV. Discutimos mais detalhadamente sobre as sobreposições mais adiante neste capítulo.

Para ter uma ideia quantitativa desses dados, apresentamos o gráfico da Figura 56, que mostra os percentuais de uso das ferramentas de visualização ao longo do episódio analisado. O tempo total do episódio foi de 19 minutos e 53 segundos.

Figura 56 - Gráfico de percentual de uso das ferramentas de visualização do episódio 2 da aula 2 do professor Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 56, percebemos que o MMC apresenta o maior percentual de uso, 32,29%. Em sequência temos a ELCG-3D com 15,82% e o MV com 13,18%. As outras duas formas de representação apresentaram um percentual de uso menor, sendo que a ELSCG apresentou um percentual de 8,21% e a FM 1,13%. Esses percentuais confirmam a centralidade do MMC tanto neste episódio quanto na aula do professor, como exposto no capítulo da macroanálise.

Apesar disso, o uso das outras ferramentas de visualização foi essencial para complementar o processo de ensino do tema geometria molecular. No tópico que se segue, discutimos sobre as *affordances* dessas ferramentas de visualização.

7.2.2. As limitações e possibilidades de uso das representações moleculares utilizadas no episódio

Alguns autores (VELÁZQUEZ-MARCANO et al., 2004, COOPER et al., 2012, STIEFF et al., 2015, entre outros) defendem a ideia de que integrar as diferentes ferramentas de visualização pode ser uma boa estratégia para favorecer a aprendizagem efetiva dos estudantes sobre a Química. Isso se justifica pelo fato de cada representação apresentar limitações e possibilidades de uso particulares. Esse conceito foi discutido por Wertsch (1998), com base em Gibson (1969), como as *affordances* ou potencialidades dos instrumentos de mediação, ou seja, possibilidades e limitações. Nesse tópico analisamos alguns aspectos sobre as ferramentas de visualização e seu uso pelo professor para compreender as possibilidades e limitações de cada uma delas.

Nesse episódio o professor utilizou representações estáticas (FM, ELSCG e ELCG-3D) e dinâmicas (MMC e o MV). No decorrer do episódio o professor, por meio de suas ações, atribuiu significado a cada uma delas. Vejamos qual foi o objetivo de uso das representações estáticas (Quadro 4):

Tabela 4 - Objetivo de uso das representações estáticas do episódio 2 da aula 2 do professor Paulo.

REPRESENTAÇÃO	OBJETIVO(S) DE USO
FM	Apresentação inicial da molécula.
ELSCG	Mostrar como os átomos terminais se ligam ao átomo central e visualizar a distribuição do par eletrônico livre.
ELCG-3D	Representar as duas possíveis estruturas para a molécula SF ₄ , de acordo com a posição do par eletrônico livre.

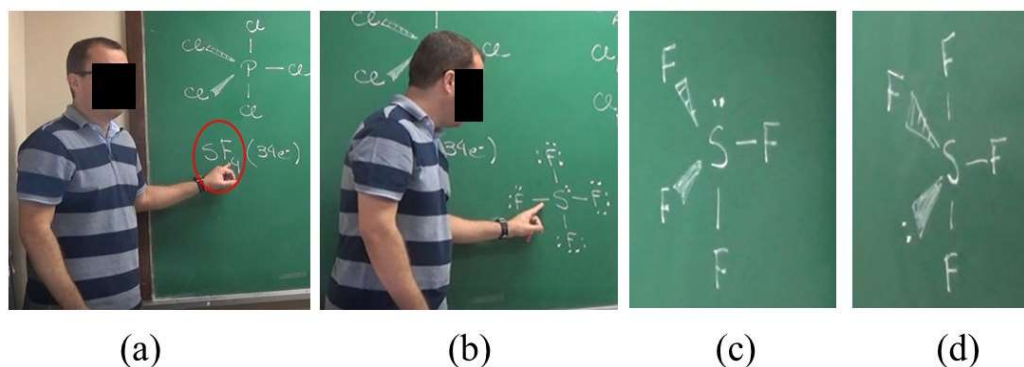
Fonte: Elaborado pela autora, 2018

Por meio da FM (Figura 57a) foi possível identificar quantos átomos constituía aquela molécula e quantos elétrons de valência ela apresentava, somando os elétrons de valência de cada átomo.

A ELSCG permitiu identificar o número de coordenação, por meio da soma dos pares de elétrons da ligação e o par de elétrons não ligantes. A partir dele se determina o arranjo molecular e, posteriormente, a geometria molecular (Figura 57b).

A ELCG-3D permitiu visualizar, por meio de uma imagem bidimensional com perspectiva tridimensional, como os átomos estariam dispostos no espaço. Possibilitou visualizar as possíveis regiões de localização do par eletrônico livre, região axial (Figura 57c) ou região equatorial (Figura 57d).

Figura 57 - Representação das estruturas estáticas utilizadas na aula do professor Paulo: (a) fórmula molecular, (b) estrutura de Lewis sem considerar a geometria e estrutura de Lewis considerando a geometria perspectiva 3D com (c) par eletrônico livre localizado na região axial e (d) com o par eletrônico livre localizado na região equatorial.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Embora as representações estáticas tenham sua importância, não é possível dar dinamicidade a elas e muito menos tirá-las do plano do quadro. Nesse sentido, o professor ficava restrito ao quadro quando agia com essas representações. Paulo nos disse na entrevista que as imagens da molécula projetadas ou desenhadas no quadro:

[...] tem um caráter bidimensional apesar de ((algumas)) estar desenhada tridimensionalmente/ para mim aquela ((imagem)) ainda é muito parado e bidimensional/ tá no plano/ e quando você traz e consegue ver uma molécula girar em diferentes planos acho que isso é importante ((mencionando o modelo molecular concreto)). (Fala do professor Paulo na entrevista, novembro de 2017)

Diante disso, o professor buscou dar dinamicidade às estruturas representadas no quadro, utilizando as representações dinâmicas em suas aulas. Nesse episódio, os objetivos de uso dessas representações estão descritas no Quadro 5:

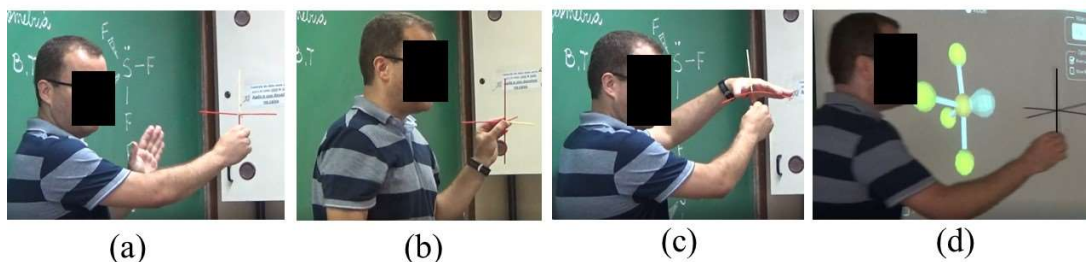
Tabela 5 - Objetivo de uso das representações dinâmicas.

REPRESENTAÇÃO	OBJETIVO(S) DE USO
MMC	Representar as possíveis estruturas para a molécula SF ₄ , fazer a análise dos ângulos de ligação de cada uma delas e mostrar a diferença entre a geometria estudada e uma geometria bipirâmide de base quadrada.
MV	No início do episódio, foi utilizado para mostrar o arranjo bipirâmide trigonal de uma molécula com NC 5. No final do episódio o MV foi utilizado para mostrar a geometria molecular do SF ₄ e os ângulos de ligação.

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

O MMC permitiu que o professor saísse do plano do quadro e que materializasse a molécula SF₄, de modo que pudesse utilizá-la em qualquer lugar da sala de aula. Além disso, foi possível mudar a posição das ligações e do par eletrônico livre (Figura 58a e 58b), observar os ângulos de ligação tridimensionalmente, perceber o sentido da repulsão par eletrônico livre/ par compartilhado (Figura 58c) e comparar a geometria da molécula analisada com outras geometrias (Figura 58d).

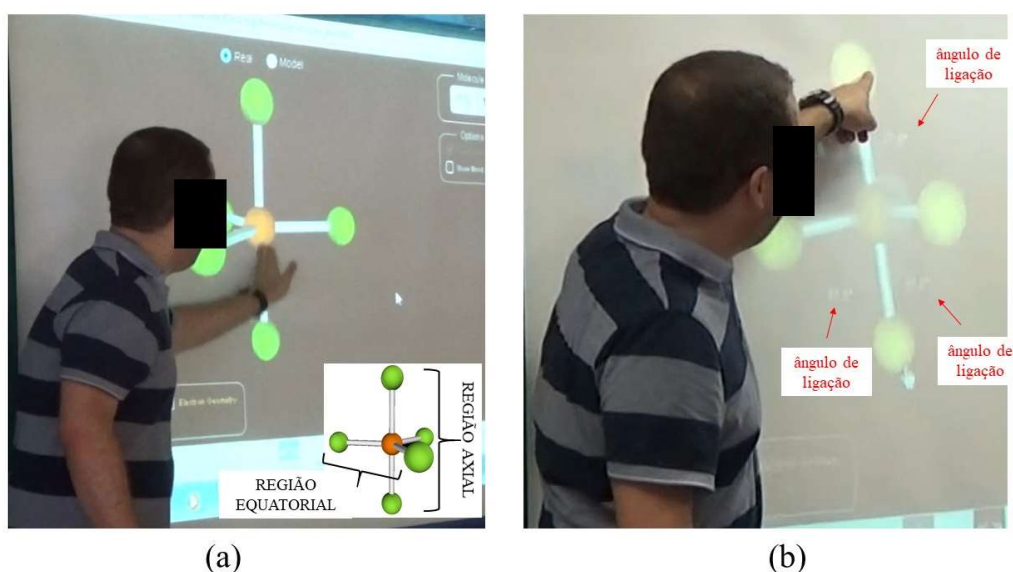
Figura 58 - Representação das estruturas dinâmicas utilizadas na aula do professor Paulo: modelo molecular concreto - molécula SF₄ com par eletrônico livre localizado (a) na região axial e (b) na região equatorial; (c) geometria bipirâmide trigonal.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Ao utilizar o MV, no início do episódio, o professor permitiu a visualização do arranjo molecular bipirâmide trigonal, auxiliando a visualização das possíveis regiões (axial ou equatorial) de localização dos elétrons não ligantes da molécula SF₄ (Figura 59a). Ao final da aula, o professor projetou o MV da molécula SF₄, o que permitiu visualizar a geometria molecular, a repulsão entre os pares de elétrons livres e os das ligações e os ângulos de ligação. Para ver os ângulos de ligação o professor girou a molécula o que só seria possível com uma representação dinâmica (Figura 59b).

Figura 59 - Representação da estrutura dinâmica: modelo virtual - em que o professor explicita (a) a região axial da molécula SF₄ e (b) os ângulos de ligação para a molécula SF₄.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Apesar da dinamicidade que o MMC oferece, ele apresenta limitações, por exemplo, sua rigidez. Além disso, o professor nos relatou que uma limitação para esse modelo seria

que ele geralmente é muito pequeno/ as turmas são grandes eu tenho turma de 40/ Então quem tá lá no fundo não vai ver mas se isso está sendo projetado eu consigo mexer tridimensionalmente/ aquele que tá lá no fundo ele consegue ver. (Fala do professor Paulo na entrevista, novembro de 2017)

Nesse sentido, o uso do MV complementa o MMC devido às possibilidades que apresenta. Percebemos que o professor planejou sua utilização sempre ao final da sequência de transição das representações complementares, para complementar as discussões já feitas durante o episódio.

Embora o MV permita que a molécula seja girada, projetada em uma tela de projeção com uma dimensão considerável, que seja visualizado o par eletrônico isolado e que seja possível verificar ângulos de ligação, ainda existem limitações para essa representação. O professor destaca que o MV utilizado não apresenta todos os ângulos de ligação da molécula, em especial os ângulos formados pelo par eletrônico livre e as ligações. Além disso, o MV, ainda que se apresente com a perspectiva tridimensional, ainda é um modelo bidimensional. Paulo destacou, ainda, que as moléculas do *Phet Molecule Shapes* vem prontas e que não é possível substituir, por exemplo, um átomo de flúor da molécula BF_3 , para ver o efeito que isso poderia causar na molécula.

se vc mudar um determinado átomo/ são três átomos diferentes ligados ao átomo Central/ se você mudar um daqueles átomos/ você pode alterar os ângulos e os alunos não percebem isso então em muitas animações elas não trazem isso/ elas não trazem exatamente para mostrar que não é linear/ não é porque o número de coordenação é 3 é que tem que ter três átomos ligados a ele/ um ângulo de 120/ se você muda o átomo pode ser que você mude aquele ângulo em função da repulsão que existe entre os pares elétrons e por aí vai/ então existe essas limitações e [...] eu tento chamar atenção. (Fala do professor Paulo na entrevista, novembro de 2017)

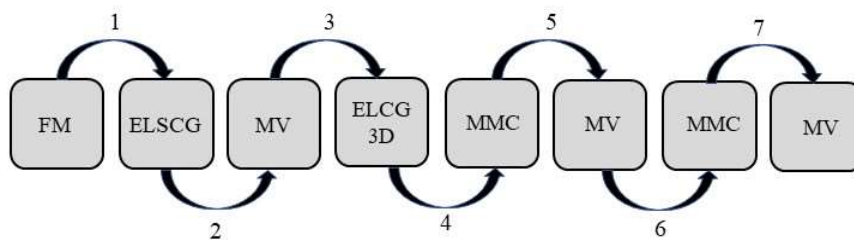
Dessa forma, o desenho no quadro e/ou a fala do professor associada ao uso do MMC, complementam essas limitações apresentadas pelo uso do MV.

Entendemos que ao integrar o uso das diferentes formas de representação molecular o professor pode diminuir as limitações de cada modelo, potencializando positivamente o processo de ensino e de aprendizagem. A seguir, discutimos sobre as estratégias que Paulo utiliza para estabelecer a sequência de transição entre as representações complementares e favorecer o desenvolvimento das habilidades de visualização e representação molecular.

7.2.3. As estratégias de Paulo para estabelecer a sequência de transição das representações moleculares complementares e favorecer o desenvolvimento das habilidade de visualização e representação molecular

Para alcançar o objetivo do episódio, reconhecer o arranjo e geometria da molécula SF_4 , o professor Paulo seguiu uma sequência de transição entre as representações moleculares complementares como mostrado na Figura 60.

Figura 60 - Sequência de transição entre as representações moleculares complementares utilizadas no episódio 2 da aula 2 do professor Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

De acordo com a Figura 60, ocorreram 7 transições entre as representações moleculares nesse episódio. Essas transições ocorreram por: (i) correlação entre alguma(s) informação(ões) da representação anterior, (ii) sobreposição entre as representações ou (iii) nenhuma correspondência direta entre as representações. O modo como o professor conduziu essas transições foi importante para favorecer oportunidades de desenvolvimento das habilidades de visualização e/ou de representação molecular. No decorrer desse capítulo detalharemos sobre esse assunto. Segue, no Quadro 6, a classificação das transições.

Tabela 6 - Classificação das transições entre as representações moleculares.

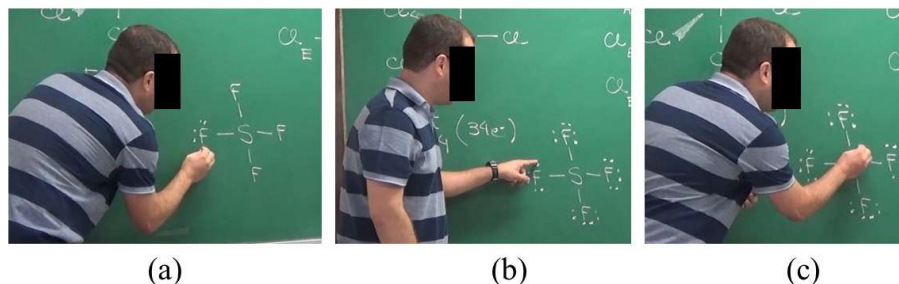
CLASSIFICAÇÃO	TRANSIÇÃO n°
correlação entre alguma(s) informação(ões) da representação anterior	1, 2 e 3
sobreposição entre as representações	4 e 5
nenhuma correspondência direta entre as representações	6 e 7

Fonte: elaborado pela autora, 2018.

Na transição 1, o professor utilizou as informações fornecidas pela FM (quantidade de átomos e de elétrons) para desenhar a ELSCG. Ao mesmo tempo que o

professor desenhou a ELSCG (Figura 61), ele explicitou o “passo a passo” sobre como desenhar essa estrutura.

Figura 61 - Representação da ELSCG (a) desenhando os elétrons dos átomos terminais, (b) contando os pares de elétrons e (c) desenhando o par de elétrons livres do átomo central na aula 2 do professor Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

O trecho referente a essa transição está transcrito a seguir,

Cada átomo de flúor/ sete elétrons né/ vezes 4/ 28/ com mais seis do átomo de enxofre/ 34 elétrons. O procedimento para fazer a estrutura de Lewis. Átomo central/ e a esse átomo central a gente liga os 4 átomos terminais. Depois qual é a próxima etapa (?)/ colocar elétrons nos átomos terminais/então depois eu vou colocar lá os elétrons nos átomos terminais// ai depois o que que eu vou fazer(?)/ contar esses elétrons/ então foram utilizados 3, 6, 9, 12/ 13,14, 15, 16 pares/ ou seja/ 32 elétrons. Esse par de elétrons que falta tem que entrar onde(?)/ no átomo central né. (Fala do professor Paulo no episódio 2 da aula 2)

A estratégia de construção da ELSCG mediada pela fala do professor pode ter favorecido o desenvolvimento da habilidade de representação molecular pelos estudantes, devido a explicitação detalhada do “passo a passo” sobre como desenhar essa estrutura. Com essa ação do professor, os estudantes podem se apropriar dessa forma de representação molecular quando confrontados a utilizá-la de alguma forma.

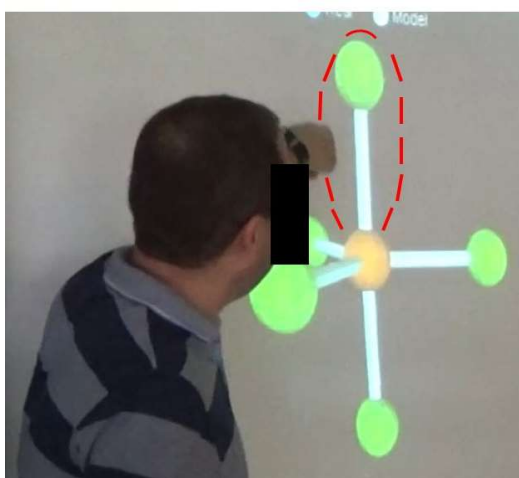
Na transição 2, o professor, agindo com o ELSCG, contou quatro ligações enxofre(S)-Flúor(F) e um par eletrônico isolado no átomo central, chegando ao NC 5 para o SF₄, portanto, arranjo bipirâmide trigonal. Diante disso, Paulo utilizou a simulação para representar esse arranjo bipirâmide trigonal e explicitar as regiões axial e equatorial.

Percebemos que essa transição pode ter favorecido o desenvolvimento da habilidade de visualização molecular, visto que a estruturação dos átomos no espaço passou da configuração desordenada (ELSCG) para a perspectiva do arranjo molecular (bipirâmide trigonal). Além disso, não seria possível explicitar as regiões axial e equatorial na ELSCG.

Esse fato indica uma complementaridade entre essas duas ferramentas de visualização e justifica seu uso pelo professor.

Na transição 3, Paulo partiu da representação do MV para a ELCG 3D. Ele, agindo com o MV, indicou as duas possíveis posições (axial e equatorial) para a localização do par de elétrons livres da molécula SF₄. Nesse momento, o professor desenhou virtualmente o orbital na posição axial, como mostrado na Figura 62, e, com base nessa informação, desenhou as ELCG 3D.

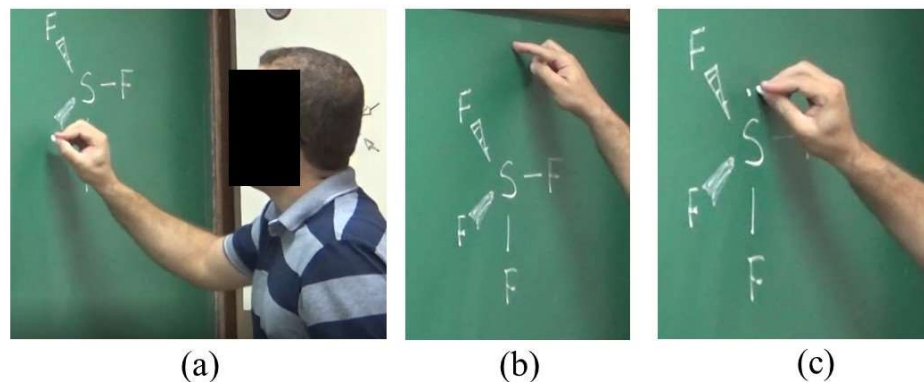
Figura 62 - Representação do desenho virtual do orbital que o professor Paulo fez utilizando o MV.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Ao desenhar virtualmente o orbital dos elétrons, o professor pode auxiliar os estudantes a promover o desenvolvimento da habilidade de visualização molecular. Essa ação pode facilitar a compreensão da representação da ELCG 3D (Figura 63) pelos estudantes.

Figura 63 - Representação do desenho da ELCG 3D quando Paulo (a) desenhou os átomos terminais ligados ao átomo central, (b) verificou uma posição axial livre e (c) desenhou o par eletrônico isolado no átomo central na posição axial.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Apresentamos a seguir a transcrição do trecho que acompanha essa transição,

((esse par eletrônico pode ser colocado em duas posições)) ou a axial ou a equatorial/ então qual é a região axial aqui?// essa aqui com o ângulo de 180// Então se a gente coloca um par eletrônico aqui/ vamos tentar representar isso// Vamos lá// Vou tentar representar aqui ((no quadro)) a molécula// vou ter lá/ átomo de enxofre/ um átomo de flúor na posição equatorial/ um átomo de flúor na posição axial/ vou colocar// mais dois átomos de flúor na posição equatorial/ tá sobrando [...] uma posição axial livre/ não é?// então nessa posição axial vou colocar o par de elétrons. (Fala do professor Paulo no episódio 2 da aula 2)

Novamente observamos que a ação de desenhar uma estrutura molecular mediada pela fala do professor pode contribuir para o desenvolvimento da habilidade de representação de estruturas como ELCG 3D. Nesse caso, percebemos que a habilidade de visualização molecular também foi trabalhada pelo professor, ao desenhar a molécula na mesma posição que o modelo virtual foi observado.

As transições 4 e 5 ocorrem com sobreposição entre as representações moleculares. Na transição 4, após desenhar as ELCG 3D (Figura 57c e 57d), o professor pegou o modelo concreto, que representa o arranjo bipirâmide trigonal, e colocou uma das varetas com uma cor diferente, para distinguir o par de elétrons livres dos elétrons das ligações entre os átomos. Ele sobrepõe as duas representações e, em seguida, por meio de sua fala e da indicação de cada átomo ou par eletrônico livre, fez a correspondência da ELCG 3D e o MMC (ver Figura 64).

Figura 64 - Representação da transição entre a estrutura de Lewis considerando a geometria perspectiva 3D e o modelo molecular concreto na aula 2 do professor Paulo.



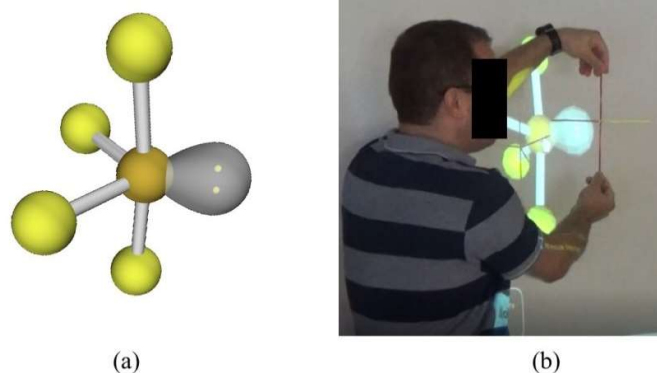
Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Para representar a segunda estrutura possível para a molécula SF_4 , o professor sobrepôs novamente as ferramentas de visualização (MMC e ELCG-3D). Porém, nesse caso, não fez a correlação detalhada entre elas, como havia feito para a primeira possibilidade de configuração molecular. Ele simplesmente alterou a posição do par eletrônico isolado (vareta com cor diferente) da axial para a equatorial.

Podemos dizer que essa ação do professor, transição entre ELCG 3D e o MMC, foi importante para favorecer a visualização da molécula em uma perspectiva 3D. Além disso, ao destacar o par eletrônico livre com uma vareta de outra cor, o professor também contribuiu para a visualização molecular. A partir da utilização de um modelo dinâmico, o MMC, Paulo favorece a visualização da repulsão eletrônica para as estruturas moleculares apresentadas por meio da análise dos ângulos de ligação.

Na transição 5, o professor sobrepôs o MV (Figura 65a) com o MMC e fez a transição entre essas representações, fazendo a correspondência de cada átomo do MMC com os respectivos átomos do MV, como representado na Figura 65b.

Figura 65 - Aula 2 do professor Paulo - (a) Representação da molécula SF₄ utilizando o MV e (b) Representação da sobreposição do MMC ao MV.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

O professor, ao sobrepor as representações moleculares, favoreceu a transição entre elas, e, portanto, a visualização molecular em uma outra perspectiva. O professor saiu de uma representação rígida para uma representação que possibilitou a visualização do efeito da repulsão eletrônica, como a distorção dos ângulos de ligação. No MV, Figura 65a, as ligações da região axial estão levemente distorcidas. No MMC essa distorção era feita pelo próprio professor ao aplicar uma força sobre o modelo.

As transições 6 e 7 ocorreram sem correspondência direta entre as representações moleculares. Na transição 6, o professor abandonou o MV e, agindo com o MMC, interrogou os estudantes sobre o nome da geometria molecular.

Como o MMC permite ser deslocado pelo espaço, o professor aproximou esse modelo dos estudantes e utilizou um recurso para que eles pudessem visualizar a geometria. Ele simulou um plano, com a utilização de uma pasta, para fazer a associação entre a representação e a geometria da molécula (Figura 66).

Figura 66 - Representação da associação da geometria da molécula SF_4 e a gangorra, na aula 2 do professor Paulo.

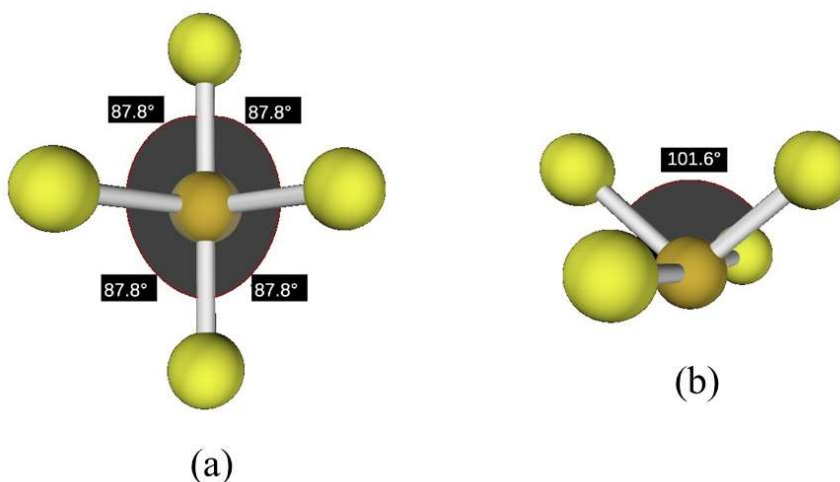


Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Nesse sentido, como o nome da geometria faz menção a um objeto do mundo real, a gangorra, o professor fez com que os estudantes visualizem esse objeto por meio da utilização do MMC e um plano criado por ele. Nesse momento, a habilidade de visualização pode ter sido promovida.

Na transição 7, após responder aos questionamentos dos estudantes, o professor retomou o uso do MV para mostrar os ângulos de ligação da molécula SF_4 (Figura 67) finalizando a sequência de transição entre as formas de representação complementares.

Figura 67 - Representação da molécula SF_4 com os ângulos de ligação (a) F axial-S-F equatorial e (b) F equatorial-S-F equatorial.



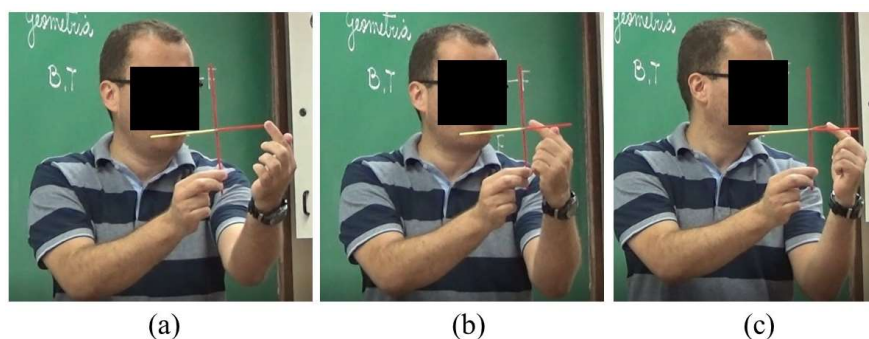
Fonte: Elaborado pela autora, a partir do PhET *Molecule Shapes*, 2018.

O professor havia apresentado os ângulos de ligação por meio da utilização do MMC. Com a utilização do MV foi possível visualizar, além do ângulo de ligação, o seu valor numérico. Além disso, foi possível perceber o efeito da repulsão que ocorre entre os pares de elétrons quando a molécula é girada. Essas possibilidades que o MV possui, podem permitir um avanço no desenvolvimento da habilidade de visualização molecular por parte dos estudantes.

Além das estratégias que ocorreram nas transições entre as representações moleculares, existiram outros momentos que foram importantes para propiciar o desenvolvimento dessas habilidades. Destacamos duas estratégias que o professor utilizou neste episódio: (i) explicitação e distorção dos ângulos de ligação utilizando o MMC e (ii) utilização do MMC para comparar geometrias moleculares.

O professor Paulo explicitou, utilizando o MMC, os ângulos de ligação aos quais ele estava se referindo. Para isso, ele indicou cada átomo da molécula, como representado na Figura 68.

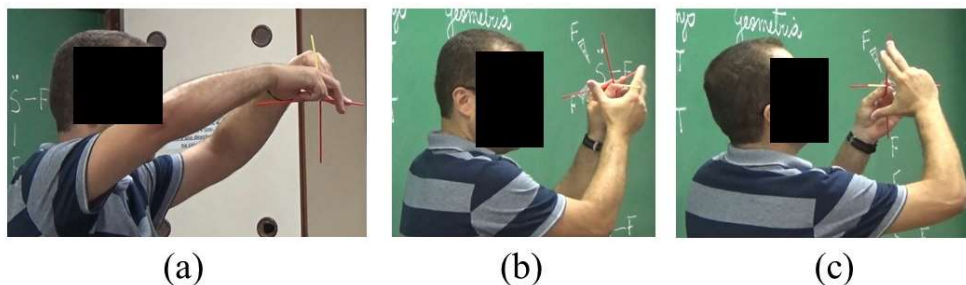
Figura 68 - Representação da indicação do ângulo de ligação pelo professor Paulo (a) F equatorial (b) S e (c) F equatorial.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Observamos que a distorção do ângulo de ligação, ao falar sobre a repulsão entre os pares isolados e compartilhados, foi feita várias vezes pelo professor, como mostrado na Figura 69.

Figura 69 - Representação da distorção que Paulo faz do ângulo de ligação na molécula SF₄ quando (a) par eletrônico livre na axial repele os pares de elétrons das ligações na posição equatorial, (b) par eletrônico livre na equatorial repele os pares de elétrons das ligações da equatorial e (c) par eletrônico livre na equatorial repele os pares de elétrons da ligação axial.

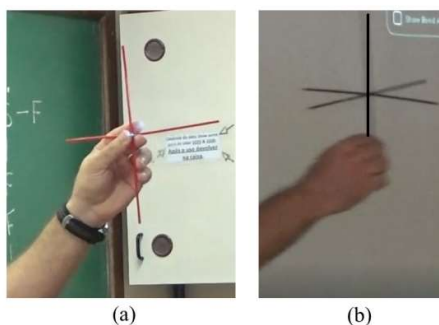


Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Para compreender o fenômeno da repulsão eletrônica, é necessário que o estudante saiba identificar os ângulos de ligação, pois eles serão afetados de modos diferentes na molécula. A distorção do ângulo auxilia os estudantes a visualizarem o sentido dessa repulsão. Essas informações são importantes para determinar a geometria da molécula. Portanto, as ações do professor, ao agir com o MMC nessas situações, podem auxiliar os estudantes na visualização molecular e na associação desses conceitos.

Tendo em vista as sugestões dos estudantes sobre a geometria da molécula SF₄, que diziam ser bipirâmide de base quadrada, o professor utilizou o próprio MMC como uma estratégia de ensino. Ele mostrou para os estudantes uma representação da geometria bipirâmide de base quadrada para que eles comparassem com a representação da geometria da molécula em estudo, como mostrado na Figura 70.

Figura 70 - Representação da geometria (a) gangorra - molécula SF₄ e (b) bipirâmide de base quadrada na aula 2 do professor



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

A utilização do MMC para comparar geometrias ocorreu de acordo com a transcrição a seguir:

Estudantes: ((Várias sugestões sobre a geometria molecular inclusive bipirâmide de base quadrada))

Professor: Será que vai dar uma bipirâmide de base quadrada aí?

Estudante 1: Apareceu.

Estudante 2: segundo o *software* não né.

Professor: O que você acha disso aqui? ((mostrando o MMC para a geometria bipirâmide de base quadrada))

Estudante 1: O quê?

Professor: Pensando em bipirâmide de base quadrada.

Estudante 1: Isso é uma bipirâmide de base quadrada.

Professor: E isso ((MMC bipirâmide de base quadrada)) se assemelha a isso aí ((MMC da molécula em estudo))?

estudante 1: não.

No trecho apresentado, o MMC foi utilizado para corrigir a previsão dos estudante sobre a geometria da molécula SF₄. O professor fez com que eles chegassem a essa conclusão que a geometria bipirâmide de base quadrada não era a correta para a molécula em estudo – por meio da comparação das geometrias moleculares representadas pelo MMC. Essa ação do professor mostrou que, por meio da visualização das estruturas moleculares, os estudantes foram capazes de solucionar um problema mesmo que ainda muito simples. Podemos dizer que estratégias como essa estão relacionadas com a habilidade de visualização molecular.

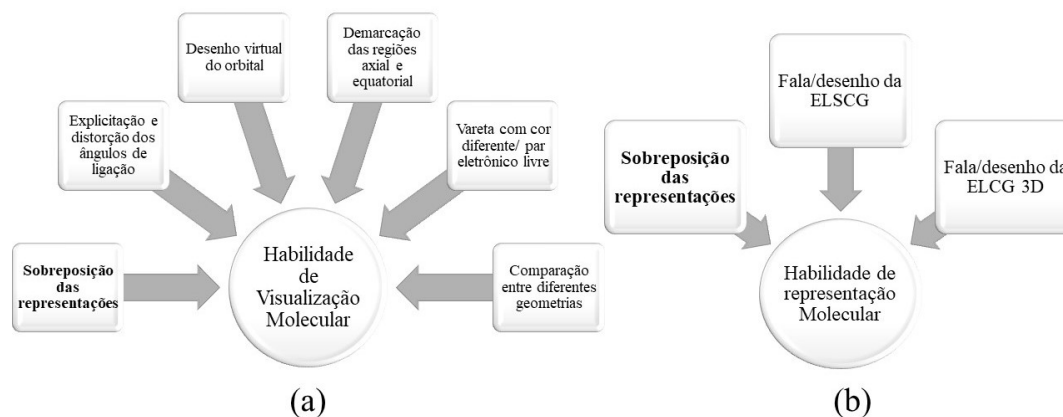
Sobre as diversas formas de representação molecular, o professor comentou que vê esses recursos:

como meio de facilitar o meu trabalho/ e eu acho que são duas funções/ facilita o meu trabalho e facilita o aluno enxergar ou entender alguma coisa/ só penso nessas duas funções exercidas exclusivamente/ não consigo atualmente ver nada diferente o disso. (Fala do professor na entrevista, novembro de 2017)

Essa fala do professor nos indica que ele se preocupa com o processo de ensino e de aprendizagem, no sentido de buscar estratégias para aproximar a química dos estudantes, fazendo com que esse processo seja mais ameno tanto para o professor quanto para os estudantes.

A Figura 71 sistematiza as estratégias ou ações do professor relacionadas com o desenvolvimento das habilidades de visualização e de representação molecular.

Figura 71 - Ações do professor Paulo e as habilidades de visualização e representação molecular.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Podemos perceber que a estratégia da sobreposição das representações pode favorecer tanto o desenvolvimento da habilidade de visualização molecular quanto da habilidade de representação molecular. Em contrapartida, a habilidade de visualização pode ter sido favorecida pelas estratégias de (i) explicitação e distorção dos ângulos de ligação; (ii) desenho virtual do orbital; (iii) demarcação das regiões axial e equatorial; (iv) vareta com cor diferente/ par eletrônico livre; e, (v) comparação entre diferentes geometrias. As estratégias (i) fala/ desenho da ELSCG e (ii) fala/desenho da ELCG-3D, podem ter favorecido, mais especificamente, o desenvolvimento da habilidade de representação molecular.

Acreditamos que, quando se utiliza e explora várias formas de representação molecular, o professor de química está possibilitando inúmeras oportunidades de desenvolvimento das habilidades de visualização e/ou representação molecular tão importantes para o entendimento da química. No tópico que se segue, explicitamos as ações do professor, ao responder aos questionamentos dos estudantes sobre a temática discutida nesse episódio e as relacionamos com as habilidades de visualização e de representação molecular.

7.2.4. Análise das ações do professor ao responder as dúvidas dos estudantes

Considerando a importância da interação professor-estudantes, se faz necessário levar em consideração as perguntas dos estudantes. Portanto, analisaremos nesta seção como o professor age com as representações moleculares para responder aos questionamentos dos estudantes.

Embora o professor se organizasse para utilizar a sequência de transição entre as representações moleculares complementares, houve momentos na aula que escaparam desse planejamento, como os momentos de perguntas dos estudantes. Em vários pontos do episódio surgiram algumas perguntas isoladas. Entretanto, elas se concentraram ao final dele, como mostrado no mapa de codificação (Figura 55). Por isso, voltamos o nosso olhar para esse momento.

Podemos classificar as perguntas dos estudantes em: (i) dúvidas relacionadas à representação, (ii) dúvidas relacionadas à visualização e (iii) dúvidas de esclarecimento sobre o conteúdo. O Quadro 7 mostra essas perguntas, sua classificação e a(s) ferramenta(s) utilizada(s) pelo professor para responder aos questionamentos.

Tabela 7 - Classificação das perguntas dos estudantes e as ferramentas de visualização utilizadas pelo professor Paulo ao respondê-las.

CLASSIFICAÇÃO	PERGUNTAS DOS ESTUDANTES	FERRAMENTA(S) UTILIZADA(S)
Dúvidas relacionadas à representação	Professor e o desenho dela vai ficar daquele jeito ali mesmo?	ELCG 3D e o MMC
Dúvidas relacionadas à visualização	Não é para o outro lado não ((sentido da repulsão entre os elétrons livres e os elétrons compartilhados))?	MMC
	Então ali ((na ELCG 3D)) os dois estão para fora ((os átomos de flúor da equatorial))?	ELCG 3D e MMC
	Parece que está repelindo menos, não?	MMC
	Esse par de elétrons ((livres)) está repelindo os dois pares ((de elétrons da ligação, tanto da posição axial quanto da equatorial)), certo? Por que o ângulo vai ser diferente?	MMC
Dúvidas de esclarecimento sobre	Você pode repetir por favor essa questão da ligação, se é mais forte ou	MMC

o conteúdo	se é mais fraca?	
	Isso ((repulsão entre o par eletrônico livre e os pares compartilhados)) interfere no tamanho da ligação?	ELCG 3D
	Repete por favor ((explicação sobre a relação entre o comprimento e força da ligação))?	ELCG 3D e MMC

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

A seguir, apresentamos as estratégias ou ações que o professor utilizou para responder a esses questionamentos. Para isso, destacamos um exemplo por tipo de pergunta. Selecionamos a pergunta de acordo com a resposta do professor, em que foi observado uma maior interação com a(s) ferramenta(s) utilizada(s).

Dúvidas relacionadas à representação molecular

O trecho que relaciona a pergunta da estudante e a resposta do professor está descrito a seguir:

Estudante 1: **Professor/ e o desenho dela vai ficar daquele jeito ali mesmo?**

Professor: Sim/ se a gente pensa no desenho/ pode ser desse jeito/ só que você nem precisa colocar o par eletrônico tridimensionalmente/ vc pode fazer o contrário/ fluor aqui/ e par eletrônico isolado aqui ((redesenha a molécula)).

Estudante 2: Eu não estou conseguindo enxergar a gangorra aí.

Professor: Isso aqui tá dessa forma// ((sobrepõe o MMC e a ELCG3D)) Flúor axial/ flúor axial/ flúor equatorial/ flúor equatorial/ e aí tem a repulsão do par eletrônico dessas ligações/ então o que a gente pode dizer sobre o ângulo de ligação flúor-enxofre-flúor equatorial?.

Estudantes: Menor que 120 ((graus)).

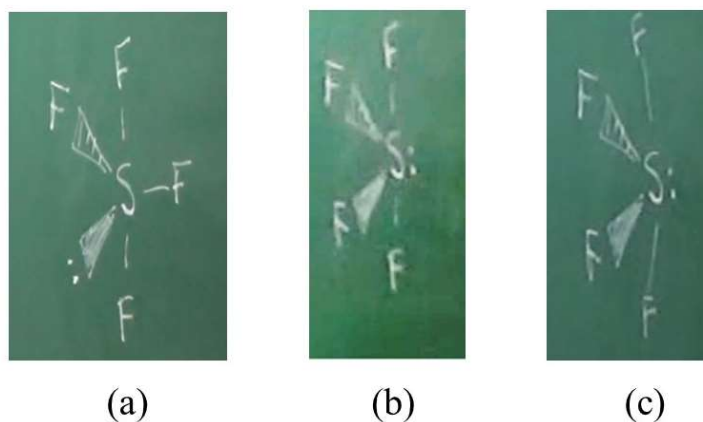
Professor: Menor que 120 ((graus)).

Estudante 1: Paulo/ só que no caso esses dois flúors da axial eles estão um pouquinho inclinados/ eles não estão 180 ((graus)).

Professor: Aí é que tá/ se a gente vai fazer o desenho real/ o que a gente vai ter/ é algo realmente como// um pouquinho inclinado ((redesenha a ligação)).

Percebemos que ocorreu um desdobramento da pergunta da estudante que levou a várias discussões sobre a representação molecular. A Figura 72 apresenta o desenho antes da pergunta da estudante (Figura 72a), depois da pergunta da estudante (Figura 72b) e após consideração da estudante sobre a distorção do ângulo do flúor axial (Figura 72c).

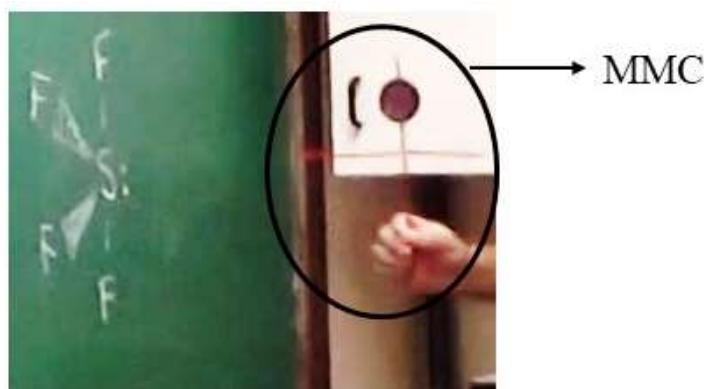
Figura 72 - Representação da ELCG 3D, utilizada na aula do professor Paulo, para a molécula SF₄ com o par eletrônico livre na posição equatorial representado (a) tridimensionalmente e (b) não tridimensionalmente; (c) distorção do ângulo de ligação do flúor da posição axial.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Para responder a estudante, o professor redesenhou a molécula SF₄ deixando-a em uma configuração semelhante a representação do MMC e do MV anteriormente apresentados. Entendemos que essa ação do professor buscou favorecer a visualização da estrutura, visto que parece que os estudantes haviam compreendido a representação da molécula no MMC. Além disso, o professor sobrepõe o MMC e a ELCG3D, como representado na Figura 73. Parece que o professor utiliza essa estratégia da sobreposição para mostrar aos estudantes que a estrutura era a mesma.

Figura 73 - Representação da sobreposição do MMC à ELCG 3D na aula 2 do professor Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Nesse trecho, observamos que o professor utilizou a estratégia da sobreposição das representações moleculares para que os estudantes visualizassem, por meio da ELCG3D,

a geometria gangorra. Além disso, alterou a posição do par eletrônico livre e representou a distorção das ligações da região axial no desenho da estrutura de Lewis. Nesse sentido, podemos dizer que a estratégia da sobreposição está associada com a habilidade de visualização molecular e que a estratégia de redesenhar a molécula está relacionada com a habilidade de representação molecular.

Dúvidas relacionadas à visualização molecular

O trecho que relaciona a pergunta da estudante e a resposta do professor está descrito a seguir:

Estudante 3: **Esse par de elétrons ((livres)) está repelindo os dois pares ((de elétrons da ligação, tanto da posição axial quanto da equatorial)), certo?**

Professor: Sim.

Estudante 3: **Por que o ângulo vai ser diferente?**

Professor: Mas aí é que tá/ o ângulo vai ser diferente porque/ você tem que se lembrar que você tem um par eletrônico aqui ((mostra virtualmente a nuvem eletrônica com sua mão direita)) ele em relação ao par compartilhado/ aqui ((na axial)) a distância não é maior?

Estudante 3: Sim.

Professor: Então ele consegue repelir tão efetivamente quanto um que tá aqui a noventa graus?

Estudante 3: Não.

Professor: Não né! Então/ se a gente pensa nos ângulos/ como ângulo aqui é de noventa/ entre o par eletrônico isolado e o par compartilhado ((axial))/ acaba que essa repulsão aqui fica o que? mais efetiva do que nessa posição ((equatorial)).

Para responder a estudante, o professor utilizou o MMC. Ele fez uma série de perguntas para a estudante a fim de que ela conseguisse chegar na resposta para a própria pergunta. A Figura 74 representa a distorção do ângulo das ligações do MMC que o professor fez ao responder a dúvida da estudante.

Figura 74 - Representação da distorção do ângulo feito pelo professor Paulo ao responder uma dúvida relacionada à visualização.



Ele utilizou a representação virtual do orbital do par eletrônico livre (posição equatorial) e fez a análise da repulsão por meio da explicitação e distorção dos ângulos da posição axial e equatorial. Essas estratégias estão relacionadas com a habilidade de visualização e podem ter auxiliado na compreensão da fala do professor.

Dúvidas de esclarecimento sobre o conteúdo

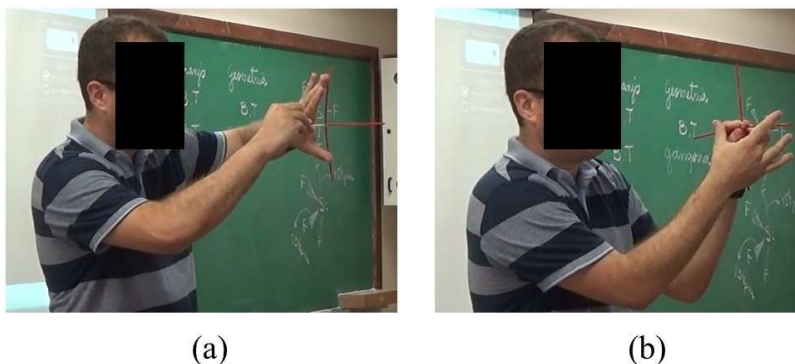
O trecho que relaciona a pergunta do estudante e a resposta do professor está descrito a seguir:

Estudante 4: Paulo/ você pode repetir por favor essa questão da ligação, se é mais forte ou se é mais fraca?

Professor: O que ocorreu aqui é/ voltando gente/ na força de ligação/ como a repulsão par isolado/ par compartilhado é maior/ essa repulsão aqui é maior ((distorcendo o ângulo de ligação par isolado-enxofre-flúor axial))/ Então se essa repulsão é maior acaba enfraquecendo a ligação entre o flúor ((axial)) e o enxofre/ Porque esse par isolado/ repele esses pares compartilhados ((da região axial)) de maneira muito mais forte do que esses dois pares compartilhados aqui ((da região equatorial)).

Percebemos, mais uma vez, que as ações do professor estavam intimamente relacionadas com sua fala. A Figura 75 mostra a distorção que o professor fez nos ângulos de ligação da molécula para responder a dúvida do estudante.

Figura 75 - Representação da distorção do ângulo feita pelo professor Paulo ao responder uma dúvida relacionada à visualização.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de foto tirada das filmagens das aulas do professor Paulo, 2018.

Nesse trecho, observamos que o professor utilizou a estratégia da distorção dos ângulos de ligação no MMC. Essa estratégia está relacionada com a habilidade de visualização molecular.

Ao analisar as ações do professor, ao responder os estudantes, entendemos que o professor buscou sempre promover a visualização daquilo que ele fala, por meio das ferramentas de visualização, com a utilização dos modelos dinâmicos ou estáticos. Esse fato reforça a ideia da tensão existente entre o professor Paulo e as ferramentas de visualização, denominada tensão irreduzível (WERTSCH, 1998). Percebemos que as estratégias que o professor utilizou são as mesmas usadas durante a aula e resumidas na Figura 72. Esse fato nos indica que essa é a performance do professor ao agir com essas representações moleculares em suas aulas.

7.3. Considerações Finais do Capítulo

De acordo com a apresentação dos dados, por meio dos mapas de codificação e gráficos de percentual de uso das ferramentas de visualização, identificamos que os episódios selecionados refletem aspectos da aula de cada um dos professores. Portanto, eles foram representativos para as nossas análises e discussões. Percebemos a centralidade do MMC para o episódio da aula da Ariela e da aula de Paulo. Cada professor utilizou ferramentas de visualização de maneira idiossincrática, para promover o entendimento do tema pelos estudantes.

Constatamos que as ferramentas de visualização apresentam *affordances* próprias, restringindo ou permitindo a ação dos professores. Evidenciamos as limitações e possibilidades de seu uso pelos professores naquele contexto específico da aula. Devido a essa propriedade da Ação Mediada, foi possível perceber a complementaridade no uso das diferentes ferramentas de visualização nas aulas dos professores analisados.

As transições entre as ferramentas de visualização foram feitas de modo muito particular para cada professor e estavam de acordo com o seu planejamento da aula. Percebemos que várias estratégias poderiam possibilitar o desenvolvimento das habilidades de visualização molecular e/ou representação molecular. Algumas estratégias foram coincidentes para os professores, por exemplo, a sobreposição das representações moleculares (MMC e MV). Esse fato pode indicar que as *affordances* dessas ferramentas de visualização pode levar os professores a criar estratégias semelhantes para diminuir as limitações das ferramentas.

A análise da sequência de transição das representações complementares dos dois professores e as ações do professor Paulo ao responder as dúvidas dos estudantes contribuíram para evidenciar a propriedade da tensão irreduzível entre o agente (professores) e o meio mediacional (ferramentas de visualização).

8. CONCLUSÕES DA PESQUISA

Este estudo permitiu analisar as estratégias utilizadas por professores de Química, para auxiliar os estudantes a desenvolver habilidades de visualização e representação molecular. Além disso, investigamos, por meio da análise das entrevistas com os professores, aspectos da formação acadêmica e da trajetória profissional que influenciaram suas práticas, delineando as suas performances atuais.

Nossos dados foram produzidos por meio de filmagem das aulas dos professores, da construção de mapas de episódios, mapas de codificação do uso das ferramentas de visualização ao longo das aulas analisadas, gráficos de percentual de uso das ferramentas de visualização e imagens geradas a partir das filmagens. Para isso, utilizamos o *software* NVivo 11 Pro como uma ferramenta de análise. Após uma análise simplificada das aulas filmadas, sentimos a necessidade de realizar uma entrevista com os sujeitos da pesquisa. Os dados construídos a partir da entrevista foram essenciais para compreender melhor algumas atitudes dos professores em sala de aula, entender suas percepções sobre o uso das ferramentas de visualização no ensino de Química e compreender aspectos de sua formação acadêmica e trajetória profissional que os influenciaram a ser os professores que são atualmente.

Os mapas de episódios permitiram verificar quais ferramentas de visualização foram utilizadas em cada episódio. Observamos que, nas aulas de polaridade e geometria molecular ministradas pelos professores participantes da pesquisa, foi utilizada alguma ferramenta de visualização na maioria dos episódios. A professora Ariela utilizou as seguintes ferramentas de visualização: FM, MMC e o MV; enquanto o professor Paulo utilizou a FM, ELSCG, ELCG-2D, ELCG-3D, MMC e MV. Salientamos que cada um dos professores analisados agiu com as ferramentas de visualização de modo idiossincrático.

Por meio do mapa de codificação, foi possível identificar qual a densidade de uso das ferramentas de visualização utilizadas pelos professores, os momentos de transição entre uma ferramenta e outra, além das sobreposições entre elas. Os gráficos forneceram os percentuais de uso para cada ferramenta de visualização nas aulas analisadas. Foi possível perceber a centralidade no uso do MMC tanto nas aulas da professora Ariela quanto nas aulas do professor Paulo. Esse fato pode indicar que esse modelo apresenta possibilidades únicas de uso no ensino de química, além de estar relacionado com o planejamento dos professores.

O pano de fundo de nossas análises foi a teoria da Ação Mediada (WERTSCH, 1998) e suas propriedades: (i) tensão irreduzível entre o agente e as ferramentas de visualização, (ii) os instrumentos de mediação são materiais e (iii) os instrumentos de mediação limitam alguns e possibilitam outros aspectos da ação. Os professores recorrem ao uso das ferramentas de visualização para se fazer entender e compartilhar significados em sala de aula. Nesse sentido a teoria da Ação Mediada nos auxiliou a compreender e a explicitar a mediação dos conhecimentos que os professores fazem ao agir com as diferentes ferramentas de visualização.

Identificamos que a professora Ariela utilizou ferramentas de visualização com materialidade intermediária, como o MV, FM e EL, e com materialidade permanente, como o MMC. O professor Paulo também utilizou ferramentas de visualização com materialidade intermediária (MV, FM, ELSCG, ELCG) e com materialidade permanente (MMC). O caráter material dos meios mediacionais indicam características importantes para a análise de suas *affordances*.

Constatamos que as ferramentas de visualização apresentam *affordances* próprias, restringindo ou permitindo a ação dos professores. Esse fato pode ser observado quando Paulo opta por utilizar um modelo dinâmico (MMC) em detrimento de um modelo estático (ELCG-3D) em suas aulas. Ou até mesmo quando age com MMC (modelo dinâmico) para mostrar os ângulos de ligação da molécula em estudo e depois complementa mostrando os valores dos ângulos ao agir com o MV (modelo dinâmico). Devido a essa propriedade da Ação Mediada, foi possível perceber a complementaridade no uso das diferentes ferramentas de visualização nas aulas dos professores analisados.

Observamos que os professores planejam como e quando as ferramentas de visualização serão utilizadas em suas aulas. Ou seja, existe uma sequência de transição entre as representações complementares que se repete a cada episódio da aula de geometria molecular dos professores. Portanto, a ordem em que as ferramentas são usadas é um fator essencial para alcançar os objetivos propostos pelos professores em seus planejamentos. Por exemplo, de modo simplificado, a professora Ariela inicia o episódio usando os MMC's construídos para verificar qual(is) modelinho(s) será o mais correto para a geometria em estudo, depois utiliza o MV para fazer a correção dos MMC's e retoma os MMC's.

Para as aulas da professora Ariela, identificamos que algumas estratégias utilizadas pela professora podem favorecer o desenvolvimento tanto da habilidade de visualização quanto o da habilidade de representação molecular: (i) sobreposição das representações, (ii) comparação entre a geometria e arranjo da mesma molécula e (iii) explicitação das dimensões das estruturas construídas (3D e 2D). As outras estratégias identificadas, estão relacionadas somente com o desenvolvimento da habilidade de visualização molecular: (i) explicitação dos ângulos de ligação, (ii) explicitação da geometria molecular com o MMC, (iii) manipulação do MV (giro da molécula) e (iv) comparação entre diferentes geometrias.

Para as aulas do professor Paulo, identificamos que a estratégia da sobreposição das representações pode favorecer tanto o desenvolvimento da habilidade de visualização molecular quanto da habilidade de representação molecular. Em contrapartida, a habilidade de visualização pode ter sido favorecida pelas estratégias de (i) explicitação e distorção dos ângulos de ligação; (ii) desenho virtual do orbital; (iii) demarcação das regiões axial e equatorial; (iv) vareta com cor diferente/ par eletrônico livre; e, (v) comparação entre diferentes geometrias. As estratégias (i) fala/ desenho da ELSCG e (ii) fala/desenho da ELCG-3D, podem ter favorecido, mais especificamente, o desenvolvimento da habilidade de representação molecular. Analisamos as ações do professor ao responder as questões dos estudantes e percebemos que as estratégias utilizadas foram as mesmas. Esse fato nos indica que essa é a performance do professor ao agir com essas representações moleculares em suas aulas, mesmo quando surgem momentos imprevisíveis nas aulas como as perguntas dos estudantes.

Nesse contexto, esses resultados explicitaram que não há como pensar na ação sem considerar o agente e o instrumento de mediação, eles formam uma unidade de análise. Podemos dizer então que existe uma tensão entre o(a) professor(a) (agente) e as ferramentas de visualização (instrumento), propriedade denominada por Wertsch (1998) como “Tensão irreduzível”.

Acreditamos que essa pesquisa contribui para evidenciar a importância da utilização de diferentes ferramentas de visualização para o ensino de química nos diversos níveis de ensino, tendo em vista o engajamento e o desenvolvimento de habilidades pelos estudantes. Além disso, apresentamos discussões sobre as *affordances* das ferramentas, que geralmente são utilizadas em sala de aula, o que pode auxiliar outros professores ou

formadores de professores na escolha apropriada para uso dessas ferramentas em seu contexto específico.

Acreditamos que o trabalho possa ser expandido para analisar outras temáticas da química, bem como, para outras áreas do ensino de ciências, por exemplo, a física e a biologia. Com o intuito de compreender quais são os instrumentos de mediação que aparecem nesses novos contextos e como os professores, ao agirem com esses instrumentos, possibilitam o desenvolvimento de habilidades pelos estudantes. Consideramos que há um campo de pesquisa para investigar mais especificamente os estudantes e o seu desenvolvimento de habilidades de visualização e habilidades de representação molecular, a partir de estratégias de ensino que contemple a utilização dos instrumentos de mediação pelos professores.

Dessa forma, concluímos que a utilização adequada e devidamente planejada das ferramentas de visualização, pode fazer com que os estudantes se apropriem de conhecimentos do nível submicroscópico e, com isso, torne o ensino de química mais produtivo, ou seja, aumente a aprendizagem dos estudantes.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, C. B. e SANTOS, L. M. M. O reuni na opinião dos gestores de uma universidade pública. **Psicologia e Sociedade**. v. 26, nº 3, p. 642-651, 2014.
- ARDAC, D. e AKAYGUN, S. Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level. **International Journal of Science Education**. v. 27, nº 11, p. 1269-1298, 2005.
- Bakhurst, D. **Vigotsky's Demons**. In: The Cambridge Companion to Vigotsky. Eds. Daniels, H., Cole, M. and Wertsch, J. Cambridge: Cambridge University Press. p. 50-76, 2007.
- Barnea, N., & Dori, Y. J. High School chemistry students' performance and gender differences in a computerized molecular modeling learning environment. **Journal of Science Education and Technology**, v. 8, nº 4, p. 257-271, 1999.
- BRIGGS, M. BODNER, G. **A model of molecular visualization**. In: Visualization in Science Education. Ed. Gilbert, K. J. Springer. v 1, p.9-28, 2005.
- BUTY, C.; MORTIMER, E. F. Dialogic/authoritative discourse and modelling in a high school teaching sequence on optics. **International Journal of Science Education**, ano 30, n. 12, p. 1635-1660, 2008.
- CHANG, H-Y.; QUINTANA, C. e KRAJCIK, J. S. The impact of designing and evaluating molecular animations on how well middle school students understand the particulate nature of matter. **Science Education**, nº 94, p. 73-94, 2010.
- CHIU, J. L. e LINN, M. C. Supporting Knowledge Integration in Chemistry with a Visualization-Enhanced Inquiry Unit. **Journal of Science Education and Technology**. v. 23, p. 37-58, 2014.
- COOPER, M. M.; UNDERWOOD, S. M.; HILLEY, C. Z. e KLYMKOWSKY, M. W. Development and assessment of a molecular structure and properties learning progression. **Journal of Chemical Education**. v. 89, p. 1351-1357, 2012.
- DORI, Y. J. e KABERMAN, Z. Assessing high school chemistry students' modeling sub-skills in a computerized molecular modeling learning environment. **Instructional Science: An International Journal of the Learning Sciences**. v. 40, p. 60-81, 2012.
- DUARTE, R. Entrevistas em pesquisas qualitativas. **Educar**. Cutiba, nº 24, p. 213-225, 2004.
- FELTRE, R. **Química**. São Paulo, Moderna, 6. Ed., 2004.
- GARCEZ, A.; DUARTE, R.; EISENBERG, Z. Produção e análise de vídeo-gravações em pesquisas qualitativas. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 249-262, 2011.
- GIBSON, J. J. **The Ecological Approach to Visual Perception**. Front Cover. Lawrence Erlbaum Associates, 1986.
- GILBERT, J. K. **Visualization: A metacognitive skill in science and science education**. In: Visualization in Science Education. Springer. Ed. Gilbert, J. K. v 1, p. 9-28, 2005

GILBERT, J. K., JUSTI, R. e QUEIROZ, A. S. **The use of a model of modelling to develop visualization during the learning of ionic bonding.** European Science Education Research Association (ESERA) 2009 Conference Proceedings. Istanbul, Turkey. p. 2-10, 2009.

GIORDAN, M. e GÓIS J. Telemática educacional e Ensino de Química: considerações em torno do desenvolvimento de um construtor de objetos moleculares. **Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa**, v. 3, n. 2, p. 41-59 2005.

GIORDAN, M. O computador na educação em ciências: breve revisão crítica acerca de algumas formas de utilização. **Ciência e Educação**, v. 11, nº2, p. 279-104, 2005.

GIORDAN, M.; SILVA-NETO, A. B. e AIZAWA, A. Relações entre gestos e operações epistêmicas mediadas pela representação estrutural em aulas de química e suas implicações para a produção de significados. **Química Nova**. São Paulo, v. 37, nº especial 1, p. 82-94, 2015.

JABER, L. Z. e BOUJAOUDE, S. A macro–micro–symbolic teaching to promote relational understanding of chemical reactions. **International Journal of Science education**. v. 34, nº 7, p. 973-998, 2012.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**. v. 7, p. 75-83, 1991.

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

KELLY, R. M. Using Variation Theory with Metacognitive Monitoring To Develop Insights into How Students Learn from Molecular Visualizations. **Journal of Chemical Education**. v.91, p. 1152-1161, 2014.

KOZMA, R. B. e RUSSELL, J. **Students becoming chemists: developing representational competence.** In: Gilbert JK (ed) Visualization in science education. Springer, The Netherlands, pp 121–145, 2005.

LIMA, M. E. C. C. e BARBOZA, L. C. Ideias estruturadoras do pensamento químico: uma contribuição ao debate. **Química Nova na Escola**, nº 21, p. 39-43, 2005.

MORO, L.; PEREIRA, R. R.; MORTIMER, E. F.; ARAÚJO, A. C. S.; SÁ, E. F.; SANTOS, E. P.; SILVA, P. S.; MARTINS, R. F.; QUADROS, A. L. e AZEVEDO, L. L. **Gestos ancorados em um terceiro modo semiótico: como auxiliam na criação de modelos tridimensionais.** IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - IX ENPEC. Águas de Lindóia, SP - 10 a 14 de novembro de 2013.

MORTIMER, E. F., MACHADO, A. H. e ROMANELLI, L. I. A proposta curricular de química do estado de minas gerais: fundamentos e pressupostos. **Química Nova**. v. 2, nº 23, p. 273-283, 2000.

MORTIMER, E.F.; MASSICAME, T.; BUTY, C.; TIBERGHEN, A. **Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de ciências.** In NARDI, R. A pesquisa em ensino de ciência no Brasil: alguns recortes. São Paulo: Escrituras, 2007.

MORTIMER, E. F.; MORO, L. e PEREIRA, R. R. **A importância do uso de diferentes tipos de gestos em aulas de Química Orgânica do Ensino Superior**. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - IX ENPEC. Águas de Lindóia, SP - 10 a 14 de novembro de 2013.

MORTIMER, E. F.; SÁ, E. F.; MORO, L. **O uso de objetos mediadores para o compartilhamento de significados em aulas do ensino superior**. X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC. Águas de Lindóia, SP – 24 a 27 de Novembro de 2015.

MOURA, D. M. **Políticas públicas educacionais prouni e fies: democratização do acesso ao ensino superior**. XI Seminário Internacional de Demandas Sociais e Políticas Públicas na Sociedade Contemporânea. Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, 2014.

OLIVEIRA, L. A.; SÁ, E. F.; MORTIMER, E. F. **Interações de um Professor de Física com Objetos Mediadores e as Ressignificações Produzidas na Sala de Aula**. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC. Florianópolis, SC – 3 a 6 de julho de 2017.

OLIVEIRA, L. A. **Interações de Professores de Química do Ensino Superior com Meios Mediacionais: História, Limites e Possibilidades**. 2018. 207 p. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais.

PINO, A. **O conceito de mediação semiótica em Vygotsky e seu papel na constituição do psiquismo humano**. Campinas, Caderno CEDES 24, pp. 32-43, 1991.

QUADROS, A. L. **Aulas no Ensino Superior: uma visão sobre professores de disciplinas científicas na Licenciatura em Química da UFMG**. 2010. 291 p. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais.

QUADROS, A. L.; SILVA, A. S. F. e MORTIMER, E. F. **Relações pedagógicas em aulas de ciências da educação superior**. *Química Nova*. v. 41, nº 2, p. 227-235, 2018.

SILVA, A. S. F.; MORTIMER, E. F.; OLIVEIRA, L. A.; SÁ, E. F.; QUADROS, A. L. **Uso de Objetos Mediadores por uma Professora de Química Orgânica da Educação Superior**. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC. Florianópolis, SC – 03 a 06 de julho de 2017.

SILVA, A. S. F.; MORTIMER, E. F.; FREITAS, J. C. e QUADROS, A. L. **As relações pedagógicas de duas professoras da educação básica nas aulas de termoquímica**. XVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA - XVIII ENEQ. Florianópolis, SC - 25 a 28 de julho de 2016.

SIRGADO, A. P. **O social e o cultural na obra de Vigotski**. In: Vigotski – O manuscrito de 1929: temas sobre a constituição cultural do homem. **Educação e Sociedade**: Revista Quadrimestral de Ciência da Educação/CEDES, nº71, 2000.

SILVA, J. G. da. **Desenvolvimento de ambiente virtual para estudo sobre representação estrutural em Química**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). 2007. 173 p. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo.

STIEFF, M.; SCOPELITIS, S.; LIRA, M. E. e DESUTTER, D. Improving representational competence with concrete models. **Science education**. v.100, nº 2, p. 344-363, 2016.

TALANQUER, V. Macro, Submicro, and Symbolic? The Many Faces of the Chemistry Triplet. **International Journal of Science Education**, v. 33, nº 2, 2011, p. 179-195, 2011.

TASKER, R. e DALTON, R. Research into practice: visualisation of the molecular world using animations. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 7, nº 2, p. 141-159, 2006.

TERUYA, L. C.; MARSON, G. A.; FERREIRA, C. L. e ARROIO, A. Visualização no ensino de química: apontamentos para a pesquisa e desenvolvimento de recursos educacionais. **Química Nova**. São Paulo, v. 36, nº 4, p. s1-s15, 2013.

TREAGUST, D. F., CHITTLEBOROUGH, G., & MAMIALA, T. L. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. **International Journal of Science Education**, v. 25, p. 1353-1368, 2003.

VELAZQUEZ-MARCANO, A. WILLIAMSON, V. M, ASHKENAZI, G. TASKER, R. e WILLIAMSON, K. C. The use of video demonstrations and particulate animation in general chemistry. **Journal of Science Education and Technology**. v.13, nº 3, p. 315-323, 2004.

VENKATARAMAN, B. Visualization and interactivity in the teaching of chemistry to science and non-science students. **Chemistry Education Research and Practice**. v. 10, p. 62-60, 2009.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2010.

WERTSCH, J. V. **Mind as action**. New York: Oxford Uni Press, 1998.

WERTSCH, J. V.; Del RIO, P.; & ALVAREZ, A. Sociocultural studies: History, action and mediation. In J. V. Wertsch, P. Del Rio & A. Alvarez (Eds.), **Sociocultural studies of mind** p. 1-36, Cambridge: Cambridge University Press. 1995.

WERTSCH, J. V. **O método de Vygotsky y la formación social de la mente**. Barcelona: Paidós, 1988.

WILLIAMSON, V. M. e JOSE, T. J. The effects of a two-year molecular visualization experience on teachers' attitudes, content knowledge, and Spatial Ability. **Journal of Chemical Education**. V. 18, nº 85, p. 718-723, 2008.

APÊNDICE

Questionário da entrevista:

- 1) Quanto tempo você tem de magistério?
- 2) Gostaria de saber um pouco sobre a sua formação e sua inserção no magistério.
 - a. Queria que você falasse um pouco da sua história como estudante e quando você ingressou no magistério.
 - b. Você se inspirou em algum(a) professor(a) que você teve na época de universidade ou ensino médio para gerenciar a dinâmica em sala de aula no início da sua carreira? O que mudou durante esses anos?
- 3) Você consegue identificar mudanças na sua prática docente, do início da carreira para os dias atuais?
- 4) Identificamos que você, na aula de polaridade e geometria molecular você utiliza alguns recursos. Conte um pouco como você incorporou esses recursos em suas aulas.
- 5) Você já pensou na função que cada recurso cumpre em suas aulas? Que contribuições (possibilidades) você percebe em relação aos usos desses recursos e a participação, envolvimento dos seus alunos? E as limitações?
- 6) A forma como você planeja suas aulas hoje é diferente de quando você ingressou no magistério? O que mudou?
- 7) Quanto Tempo gasta para fazer o planejamento das aulas? Você leva em consideração os objetos que vai utilizar no planejamento? Você planeja como irá introduzi-los na aula?
- 8) Você sempre usou simulações? A gente queria ouvir você falar sobre a história do uso desse recurso na sua prática.
- 9) O que vc considera que mudou do início da sua carreira até agora em relação ao uso das simulações?
- 10) Por que você usa as simulações?
- 11) Em que aspectos você avalia que a simulação acrescenta algo a aprendizagem dos alunos?
- 12) Tem algum momento no seu planejamento que os estudantes manipulam as simulações?
- 13) Por que em seu planejamento você não contempla a manipulação das simulações pelos estudantes?
- 14) Deixe uma mensagem de estímulo para os professores que não são adeptos da utilização de recursos como esse.