

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS – UNIFAL - MG

MARIA FERNANDA CAMPOS MENDONÇA

**DIAGRAMA V MODIFICADO COMO INSTRUMENTO AVALIATIVO DA
APRENDIZAGEM DE ALUNOS DE UM CURSO DE LICENCIATURA EM
QUÍMICA**

ALFENAS/MG
2014

MARIA FERNANDA CAMPOS MENDONÇA

**DIAGRAMA V MODIFICADO COMO INSTRUMENTO AVALIATIVO DA
APRENDIZAGEM DE ALUNOS DE UM CURSO DE LICENCIATURA EM
QUÍMICA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Química Inorgânica pela Universidade Federal de Alfenas.

Área de concentração: Química Inorgânica.

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Regina Cordeiro.

Co-orientadora: Profa. Dra. Keila Bossolani Kiill

ALFENAS/MG
2014

Mendonça, Maria Fernanda Campos.

Diagrama V modificado como instrumento avaliativo da aprendizagem de alunos de um curso de licenciatura em química / Maria Fernanda Campos Mendonça. - 2014.
303 f. -

Orientadora: Márcia Regina Cordeiro

Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2014.

Bibliografia.

1. Aprendizagem - ensino. 2. Avaliação. 3. Conceitos químicos. I. Cordeiro, Márcia Regina. II. Título.

CDD: 540.7

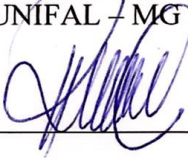
MARIA FERNANDA CAMPOS MENDONÇA


**DIAGRAMA V MODIFICADO COMO INSTRUMENTO AVALIATIVO DA
APRENDIZAGEM DE ALUNOS DE UM CURSO DE LICENCIATURA EM
QUÍMICA**

A Banca examinadora abaixo-assinada, aprova a
Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em
Química Inorgânica pela Universidade Federal
de Alfenas. Área de concentração: Química
Inorgânica.

Aprovada em : 05/02/2014

Profª. Dra. Márcia Regina Cordeiro 
Instituição: Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL – MG (Assinatura)

Prof. Dr. Paulo Rogério Miranda Correa 
Instituição: Universidade de São Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades –
USP – SP (Assinatura)

Profª. Dra. Maria Vanda Marinho 
Instituição: Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL – MG (Assinatura)

Dedico a Jeová Deus, a meu esposo, aos meus pais, amigos e orientadoras pelo apoio na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Alfenas pela oportunidade oferecida.

Às Prof^{as} Dras. Márcia Regina Cordeiro e Keila Bossolani Kiill, orientadoras pela dedicação, conhecimentos transmitidos e confiança depositada na realização deste trabalho.

Ao Prof^o Dr. Carlos Tadeu Siepierski pelas discussões referentes à pesquisa etnográfica e à observação participante.

Ao Prof^o Ms. Mário Roberto Barro pelo fornecimento de material expositivo sobre mapas conceituais.

Aos professores do Mestrado em Química Inorgânica e da Disciplina “O conhecimento em sala de aula: Organização do ensino” da USP (Universidade de São Paulo), pelos ensinamentos.

Aos colegas do grupo de pesquisa GELPROCE (Grupo de Estudos e Pesquisas em Linguagens e Processos) pelo incentivo aos estudos e pelos momentos de discussões teóricas, em especial a Bruna da Silva pela amizade, presença nas prévias e contribuições para a elaboração da dissertação.

Aos alunos do primeiro e segundo períodos do curso de Química Licenciatura, turma de 2012, pela participação ativa durante toda a aplicação dos instrumentos avaliativos.

Aos amigos Luana, Adenir, Ramon e Grazi pela colaboração com a formatação e impressão da dissertação.

Ao meu esposo Douglas José Mendonça pela companhia, apoio e compreensão.

Aos meus familiares, principalmente meus pais- Elizabeth Maria do Nascimento e José Fernando do Nascimento- minha irmã- Maria Gabriela- minhas avós- Guilhermina Hirundina de Araújo e Daura Maria do Nascimento, pelo apoio e força durante os estudos.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação pela política de incentivo à produção acadêmica.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro.

Aos Bibliotecários pelo suporte durante a elaboração dessa monografia.

RESUMO

A avaliação é tida como peça-chave de todo o dispositivo pedagógico, pois permite reconhecer, em cada momento, quais são as dificuldades que os alunos encontram em seu processo de aprendizagem e quais as melhores estratégias para superá-las. Com base nesses pressupostos, buscou-se, neste estudo, propor o uso de diagrama V modificado em uma sequência, em conjunto com os mapas conceituais, como instrumentos para avaliar a aprendizagem dos sujeitos de pesquisa sobre o conteúdo ligações químicas. Por meio de tais instrumentos, procurou-se acompanhar a aprendizagem dos alunos sobre o referido conteúdo, mediante o estabelecimento de relações entre os diferentes conteúdos da área da ciência química, trabalhados ao longo da disciplina de Química Inorgânica I. O estudo foi realizado com alunos ingressantes no curso superior de Química-licenciatura da Universidade Federal de Alfenas-MG e se desenvolveu segundo uma metodologia de pesquisa qualitativa, cujo objetivo é investigar os significados atribuídos pelas pessoas aos eventos e objetos estudados. A coleta dos dados se deu a partir da observação participante, do tipo aberta e as observações foram registradas no decorrer da investigação, em diário de campo. Os dados foram coletados em dois momentos; um, na disciplina de Química Geral e outro, na disciplina de Química Inorgânica I. No primeiro deles, fez-se um levantamento das concepções dos alunos quanto aos subsunçores, à estrutura da matéria e às propriedades periódicas, necessários ao entendimento do tema ligações químicas. Esse levantamento se deu a partir de questões avaliativas propostas em provas, na referida disciplina. As respostas dos sujeitos de pesquisa às questões foram analisadas segundo o estabelecimento de categorias de análise, por meio das quais se identificou que a maioria dos alunos não possuíam em suas estruturas cognitivas, de forma clara, diferenciada e estável, as concepções científicas para os referidos subsunçores. No primeiro momento, também foram ministradas algumas aulas para apresentar e instruir os alunos na elaboração dos mapas conceituais e “Vês” modificados. No segundo momento, foram construídos pelos sujeitos de pesquisa cinco diagramas V modificados e três mapas conceituais, a fim de avaliar a compreensão dos mesmos sobre o conteúdo de ligações químicas. A análise desses instrumentos se deu com base nos critérios de análise propostos na literatura e os resultados obtidos indicaram que, independentemente dos objetos e dos acontecimentos estudados, os alunos sempre se remetiam ao mesmo modelo, ainda que nas descrições fizessem referência a outros. Percebe-se, pois, que a estabilidade das ligações químicas ainda se explica pela regra do octeto. Assim, pode-se ressaltar que os instrumentos propostos para a avaliação da aprendizagem dos alunos, nesta pesquisa, forneceram dados relevantes sobre a aprendizagem dos alunos, referentes aos seus avanços e dificuldades.

Palavras-chave: Teoria da Aprendizagem Significativa. Instrumentos avaliativos. Mapas conceituais. Diagrama V.

ABSTRACT

The evaluation is considered as a key part of any pedagogical device as they allow to recognize, in every moment, what are the difficulties that students encounter in their learning process and what the best strategies to overcome them. Based on these assumptions, this study aimed to propose the use of modified V diagram in a sequence, together with the concept maps as tools to assess the learning of research subjects about the content chemical bonds. Through such tools, we tried to follow the learning of students in those contents, by establishing relationships between the different content area of chemical science, worked out over the course of Inorganic Chemistry I. The study was conducted with students entering in the upper-Chemistry degree from the Federal University of Alfenas-MG and developed according to a methodology of qualitative research, whose goal is to investigate the meanings attributed by the people, events and objects studied. Data collection occurred from participant observation, open-type, and the observations were recorded in the results from the research in the field diary. Data were collected at two points, one in the discipline of general chemistry and other disciplines in Inorganic Chemistry I. In the first, we carried out a survey of students' conceptions about the subsumers, structure of matter and periodic properties, necessary to the understanding of the subject chemical bonds. This survey took place from evaluative questions proposed in evidence in this discipline. Subjects' responses to the research questions were analyzed according to the establishment of categories of analysis, through which it was identified that the majority of students did not have in their cognitive structures in a clear, distinct and stable scientific conceptions for referred subsumers. At first, too, were taught some lessons to introduce and instruct students in mapping conceptual and "Vê" modified. In the second phase, subjects were constructed by investigation, five and three diagrams modified V conceptual maps to assess understanding thereof on the content of chemical bonds. The analysis of these instruments are given based on analysis criteria proposed in the literature and the results indicated that, regardless of the objects and events studied, students always remitted to the same model, although the descriptions made reference to other models. For it is clear that the stability of the chemical bonds also explains the octet rule. Thus, it can be noted that the proposed instruments for the assessment of student learning, in this research, provided relevant data on student learning, referring to his advances and difficulties.

Keywords: Theory of Meaningful Learning. Evaluative instruments. Conceptual maps. Diagram V

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Estrutura e elementos do diagrama V.....	17
Figura 2	- Tipos de aprendizagem humana e a relação entre eles.....	32
Figura 3	- Sequência da variação da aprendizagem humana.....	34
Figura 4	- Os cinco elementos da educação.....	36
Figura 5	- Esquema da assimilação.....	43
Figura 6	- Mapa conceitual sobre os elementos e características dos mapas conceituais.....	54
Figura 7	- Representação do V heurístico de Gowin.....	56
Figura 8	- Roteiro da atividade experimental intitulada “Os elementos fósforo, Arsênio e Antimônio e seus compostos” proposto na disciplina de Química Inorgânica I.....	66
Figura 9	- Mapa conceitual elaborado pelo professor referente aos conceitos a serem trabalhados na disciplina de Química Geral.....	71
Figura 10	- “Parada” de Vês.....	73
Figura 11	- Sequência de “Vês”, proposta pelo pesquisador, para a avaliação da compreensão dos alunos sobre o conteúdo de ligações químicas.....	74
Figura 12	- Diagrama V modificado.....	78
Figura 13	- Questões avaliativas extraídas de provas aplicadas na disciplina de Química Geral, utilizadas no levantamento dos subsunçores necessários à aprendizagem de ligações químicas.....	105
Figura 14	- Representação do modelo atômico moderno do aluno I.....	109
Figura 15	- Representação do modelo atômico moderno do aluno M.....	109
Figura 16	- Representação do modelo atômico moderno do aluno K.....	109
Figura 17	- Representação dos orbitais p. Os orbitais têm sinais opostos (destacado pela diferença progressiva de cor) de cada lado do plano nodal.....	109
Figura 18	- Representação pictórica de um átomo hipotético.....	110
Figura 19	- Representação do modelo atômico moderno do aluno A.....	110
Figura 20	- Representação dos três orbitais s de energia mais baixa. O sombreamento das superfícies limites é uma indicação aproximada da densidade de elétrons em cada ponto.....	110
Figura 21	- Representação do modelo atômico moderno do aluno H.....	111
Figura 22	- Representação do modelo atômico moderno do aluno F.....	112
Figura 23	- Representação do átomo moderno do aluno O.....	113
Figura 24	- Representação do modelo atômico moderno do aluno Q.....	113
Figura 25	- Representação do modelo atômico moderno do aluno P.....	113
Figura 26	- Representação do átomo moderno do aluno C.....	113
Figura 27	- Representação do átomo moderno do aluno S.....	114
Figura 28	- Representação do átomo moderno do aluno G.....	114
Figura 29	- Mapa conceitual do grupo (G, J e S) referente ao diagrama V da atividade prática intitulada “Construção da curva de solubilidade do nitrato de potássio”.....	125
Figura 30	- Diagrama V elaborado pelo grupo (G, J e S) referente à atividade prática intitulada “Construção da curva de solubilidade do nitrato de potássio”.....	129
Figura 31	- Mapa conceitual do grupo (A e E) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	134

Figura 32	-	Mapa conceitual do grupo (D, H e L) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	135
Figura 33	-	Mapa conceitual do grupo (F, I e Q) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	136
Figura 34	-	Mapa conceitual do grupo (G, J e S) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	137
Figura 35	-	Mapa conceitual do grupo (K e R) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	138
Figura 36	-	Mapa conceitual do Grupo (M e P) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	139
Figura 37	-	Mapa conceitual do Grupo (C e O) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	139
Figura 38	-	Representação do grupo (F, I e Q) para os átomos de Na, Ca, Mg e K, referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	145
Figura 39	-	Representação do grupo (G, J e S) para os átomos de Na e K, referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	145
Figura 40	-	Representação do grupo (K e R), para o átomo de Na e seu respectivo cátion (Na ⁺) e para os átomos de Ca e K, referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	146
Figura 41	-	Representação do grupo (A e E), referente aos átomos de Na, K, Ca e Mg e seus respectivos cátions, referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	147
Figura 42	-	Representação do grupo (O e C), para os átomos de Mg, K, Ca e Na, referente ao primeiro diagrama V do estudo final.....	148
Figura 43	-	Diagrama V do grupo (B e N), referente à reatividade dos metais alcalinos e alcalinos terrosos.....	151
Figura 44	-	Diagrama V do grupo (C e O), referente à reatividade dos metais alcalinos e alcalinos terrosos.....	152
Figura 45	-	Mapa conceitual do aluno D, referente ao segundo diagrama V do estudo final.....	160
Figura 46	-	Mapa conceitual do aluno N, referente ao segundo diagrama V do estudo final.....	161
Figura 47	-	Mapa conceitual do aluno E, referente ao segundo diagrama V do estudo final.....	163
Figura 48	-	Figura 48- Mapa conceitual do aluno P, referente ao segundo diagrama V do estudo final.....	165
Figura 49	-	Diagrama V do aluno H referente à ligação iônica.....	170
Figura 50	-	Representação do aluno J para o composto NaCl(s), referente ao segundo diagrama V do estudo final.....	170
Figura 51	-	Representação do aluno P para o composto NaCl(s), referente ao segundo diagrama V do estudo final.....	171
Figura 52	-	Representação do aluno S para o composto NaCl(s), referente ao segundo diagrama V do estudo final.....	171
Figura 53	-	Diagrama V do aluno A, referente à ligação iônica.....	172
Figura 54	-	Transformação elaborada pelo aluno N, referente ao segundo diagrama V do estudo final.....	174
Figura 55	-	Representação do aluno B para a molécula de enxofre S ₈ , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.....	181
Figura 56	-	Representação do aluno Q para a molécula de enxofre S ₈ , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.....	182

Figura 57	-	Representação do aluno D para a molécula de enxofre S ₈ , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.....	183
Figura 58	-	Representação do aluno H para a molécula de enxofre S ₈ , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.....	183
Figura 59	-	Representação do aluno A para a molécula de enxofre S ₈ , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.....	184
Figura 60	-	Representação do aluno E para a molécula de enxofre S ₈ , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.....	184
Figura 61	-	Representação do aluno R para a molécula de enxofre S ₈ , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.....	184
Figura 62	-	Representação do aluno B para a molécula de enxofre S ₈ , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.....	185
Figura 63	-	Diagrama V do aluno H, referente à ligação covalente (substância enxofre).....	188
Figura 64	-	Diagrama V do aluno J, referente à ligação covalente (substância enxofre).....	191
Figura 65	-	Diagrama V do aluno I, referente à ligação covalente (substância enxofre).....	192
Figura 66	-	Diagrama V do aluno O, referente à ligação covalente (substância enxofre).....	193
Figura 67	-	Diagrama V do aluno E, referente à ligação covalente (substância enxofre).....	195
Figura 68	-	Diagrama V do aluno A, referente à ligação covalente (substância enxofre).....	196
Figura 69	-	Representação do aluno I para o diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares da molécula de O ₂ e do íon O ₂ ⁻ , referente ao quarto diagrama V do estudo final.....	204
Figura 70	-	Representação do aluno N para o diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares da molécula de O ₂ e do íon O ₂ ⁻ , referente ao quarto diagrama V do estudo final.....	205
Figura 71	-	Representação do aluno P para o diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares da molécula de O ₂ e do íon O ₂ ⁻ , referente ao quarto diagrama V do estudo final.....	205
Figura 72	-	Representação do aluno A para os orbitais moleculares do O ₂ , referente ao quarto diagrama V do estudo final.....	206
Figura 73	-	Representação do aluno D para os orbitais moleculares do O ₂ , referente ao quarto diagrama V do estudo final.....	207
Figura 74	-	Representação do aluno E para os orbitais moleculares do O ₂ , referente ao quarto diagrama V do estudo final.....	207
Figura 75	-	Representação do aluno L para os orbitais moleculares do O ₂ , referente ao quarto diagrama V do estudo final.....	208
Figura 76	-	Diagrama V do aluno N, referente à ligação covalente (substância oxigênio).....	213
Figura 77	-	Diagrama V do aluno A, referente à ligação covalente (substância oxigênio).....	214
Figura 78	-	Representação do aluno N para a substância Li _(s) , referente ao quinto diagrama V.....	222
Figura 79	-	Representação do aluno A para a substância Li _(s) , referente ao quinto diagrama V.....	222
Figura 80	-	Representação do aluno D para a substância Li _(s) , referente ao quinto	

	diagrama V.....	222
Figura 81 -	Representação do aluno E para a substância Li(s), referente ao quinto diagrama V.....	223
Figura 82 -	Representação do aluno L para a substância Li(s), referente ao quinto diagrama V.....	223
Figura 83 -	Representação do aluno S para a substância Li(s), referente ao quinto diagrama V.....	223
Figura 84 -	Representação do aluno K para a substância Li(s), referente ao quinto diagrama V.....	223
Figura 85 -	Representação do aluno P para a substância Li(s), referente ao quinto diagrama V.....	224
Figura 86 -	Representação do aluno R para a substância Li(s), referente ao quinto diagrama V.....	224
Figura 87 -	Transformação do aluno R em termos das bandas do Lítio (Li(s)), referente ao quinto diagrama V.....	227
Figura 88 -	Transformação do aluno K em termos das bandas do Lítio (Li(s)), referente ao quinto diagrama V.....	227
Figura 89 -	Transformação do aluno E em termos das bandas do Lítio (Li(s)), referente ao quinto diagrama V.....	228
Figura 90 -	Transformação do aluno J em termos das bandas do Lítio (Li(s)), referente ao quinto diagrama V.....	228
Figura 91 -	Transformação do aluno I em termos das bandas do Lítio (Li(s)), referente ao quinto diagrama V.....	229
Figura 92 -	Diagrama V do aluno D, referente à ligação metálica.....	230
Figura 93 -	Diagrama V do aluno L, referente à ligação metálica.....	231
Figura 94 -	Mapa conceitual do aluno D, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagramas V.....	236
Figura 95 -	Mapa conceitual do aluno N, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagramas V.....	237
Figura 96 -	Mapa conceitual do aluno J, referente ao segundo diagrama V.....	239
Figura 97 -	Mapa conceitual do aluno J, referente aos terceiro, quarto e quinto diagramas V.....	240
Figura 98 -	Mapa conceitual do aluno N, referente ao segundo diagrama V.....	241
Figura 99 -	Mapa conceitual do aluno N, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagramas V.....	242
Figura 100 -	Mapa conceitual do aluno E, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagrama V.....	246
Figura 101 -	Mapa conceitual do aluno A, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagrama V.....	249
Figura 102 -	Mapa conceitual do aluno D, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagrama V.....	250
Figura 103 -	Caracterização dos instrumentos avaliativos, pelos sujeitos de pesquisa, segundo a relevância para a avaliação da aprendizagem.....	252
Figura 104 -	Diagrama V do estudo.....	262

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Avaliação dos sujeitos de pesquisa referente aos conteúdos da área da ciência Química ensinados no Ensino Médio.....	64
Tabela 2	- Atividades experimentais realizadas nas disciplinas de Química Geral e Química Inorgânica I.....	67
Tabela 3	- Critério de análise do mapa conceitual referente ao artigo científico intitulado “Reações químicas: fenômeno, transformação e representação”.....	96
Tabela 4	- Critérios de análise dos Diagramas V.....	96
Tabela 5	- Critérios de análise dos mapas conceituais.....	100
Tabela 6	- Nota dos mapas conceituais, segundo a distribuição da pontuação em torno da média.....	101
Tabela 7	- Classificação das respostas dos alunos em categorias de análise e concepções alternativas sobre o modelo atômico moderno.....	106
Tabela 8	- Concepções dos alunos sobre os conceitos de energia de ionização, eletronegatividade e a relação destes com o conceito raio atômico.....	116
Tabela 9	- Pontuação dos mapas conceituais, referente ao primeiro diagrama V do estudo final, segundo os critérios de análise.....	132
Tabela 10	- Nota dos mapas conceituais, referentes ao primeiro diagrama V do estudo final, segundo a distribuição em torno da pontuação média.....	133
Tabela 11	- Pontuação dos diagramas V referente ao primeiro “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise.....	143
Tabela 12	- Concepções dos sujeitos de pesquisa referentes à ocorrência das ligações químicas, segundo as categorias de análise.....	155
Tabela 13	- Pontuação dos mapas conceituais, referentes ao segundo diagrama V, do estudo final.....	159
Tabela 14	- Notas dos mapas conceituais, referentes ao segundo diagrama V, segundo a distribuição em torno da pontuação média.....	162
Tabela 15	- Pontuação dos diagramas V, referente ao segundo “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise.....	166
Tabela 16	- Pontuação dos diagramas V, referente ao terceiro “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise.....	178
Tabela 17	- Pontuação dos diagramas V, referente ao quarto “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise.....	198
Tabela 18	- Pontuação dos diagramas V, referente ao quinto “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise.....	216
Tabela 19	- Pontuação dos mapas conceituais, referentes aos terceiro, quarto e quinto diagramas V do estudo final, segundo os critérios de análise.....	234
Tabela 20	- Notas dos mapas conceituais, referentes aos terceiro, quarto e quinto diagramas V, segundo a distribuição em torno da pontuação média.....	238

LISTA DE EQUAÇÕES

Tabela 1	-	Fórmula estatística da Média aritmética.....	101
Tabela 2	-	Fórmula estatística do Desvio padrão da amostra.....	101

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AE	- Afinidade Eletrônica
CAPES	- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCC	- Cúbica de Corpo Centrado
CEP	- Comitê de Ética em Pesquisa
EI	- Energia de Ionização
GELPROCE	- Grupo de Estudos e Pesquisas em Linguagens e Processos
LCAO	- Linear Combination of Atomic Orbitals (Combinação Linear de Orbitais Atômicos)
LIPHs	- Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies (Estruturas Hierárquicas Inapropriadas ou Limitadas)
PDI	- Plano de Desenvolvimento Institucional
PIBID	- Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência
PROFOQUI	- Programa de Formação de Professores de Química
PP	- Projeto Pedagógico
TAS	- Teoria da Aprendizagem Significativa
TCC	- Teoria das Cargas Cognitivas
TLV	- Teoria de Ligação de Valência
TOM	- Teoria do Orbital Molecular
UNIFAL	- Universidade Federal de Alfenas
USP	- Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	APLICAÇÕES DO DIAGRAMA V NO PROCESSO ENSINO- APRENDIZAGEM-AVALIAÇÃO.....	20
1.1.1	Análise e planejamento de currículo e de materiais instrucionais.....	20
1.1.2	Ferramenta auxiliar no ensino e na aprendizagem.....	22
1.1.3	Instrumento de avaliação da aprendizagem.....	26
1.1.4	Análise crítica dos trabalhos da literatura.....	27
1.1.5	Contribuições dos trabalhos para este estudo.....	29
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	31
2.1	TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	31
2.1.1	A construção de novos significados.....	35
2.1.2	Tipos de aprendizagem receptiva significativa.....	38
2.1.3	Teoria da assimilação.....	43
2.1.4	Diferenciação progressiva e reconciliação integradora.....	45
2.2	AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM.....	46
2.2.1	Tipos de avaliação.....	49
2.2.2	Instrumentos avaliativos.....	51
2.2.2.1	Mapa conceitual.....	52
2.2.2.2	Diagrama V.....	56
3	PERCURSO METODOLÓGICO.....	59
3.1	QUESTÃO DE PESQUISA E OBJETIVOS.....	61
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS DE PESQUISA.....	62
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO CONTEXTO DE PESQUISA.....	65
3.4	RECURSOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS.....	71
3.5	MODIFICAÇÕES DO VÊ.....	77
3.6	ETAPAS DA COLETA DE DADOS.....	80
3.6.1	1º momento - disciplina de química geral.....	80
3.6.2	2º momento – disciplina de química inorgânica I.....	85
3.7	METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS.....	90
3.7.1	Metodologia de análise das questões de levantamento de concepções.....	90
3.7.1.1	Estrutura eletrônica dos átomos.....	91
3.7.1.2	Propriedades periódicas.....	92
3.7.1.3	Ligações químicas.....	94
3.7.2	Metodologia de análise dos mapas conceituais e diagramas V modificados.....	95
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	103
4.1	ESTUDO INICIAL.....	103
4.1.1	Levantamento das concepções dos alunos sobre estrutura da matéria e propriedades periódicas.....	103
4.1.1.1	Concepções dos alunos sobre estrutura da matéria.....	105
4.1.1.2	Concepções dos alunos sobre propriedades periódicas.....	116
4.1.2	Levantamento da compreensão dos alunos sobre a elaboração de mapas conceituais e de diagrama V modificado.....	119
4.1.2.1	Mapa conceitual final.....	119
4.1.2.2	Diagrama V modificado.....	122
4.2	ESTUDO FINAL.....	130

4.2.1	Análise do primeiro diagrama V modificado.....	131
4.2.2	Concepções dos alunos sobre ligações químicas.....	154
4.2.3	Análise do segundo diagrama V modificado.....	158
4.2.4	Análise do terceiro e do quarto diagrama V modificado.....	177
4.2.4.1	Terceiro diagrama V modificado.....	177
4.2.4.2	Quarto diagrama V modificado.....	197
4.2.5	Análise do quinto diagrama V modificado.....	210
4.2.6	Análise do mapa conceitual final.....	233
5	IMPLICAÇÕES DO USO DE DIAGRAMA V MODIFICADO COMO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO SEGUNDO A PERSPECTIVA DOS SUJEITOS DE PESQUISA.....	252
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	257
	REFERÊNCIAS.....	264
	APÊNDICES.....	271
	ANEXOS.....	296

1 INTRODUÇÃO

Dentre os vários temas que compõem a organização do trabalho pedagógico, pode-se dizer que a avaliação ocupa um lugar de destaque. Isso se deve a sua dinamicidade em qualificar, subsidiar e encaminhar as ações do docente, a fim de direcionar e construir os resultados que se desejam obter ao longo do processo de ensino e aprendizagem. Nesse sentido, este estudo se propôs a investigar o uso do diagrama V, como instrumento avaliativo da aprendizagem de alunos de um curso de Química licenciatura sobre o conteúdo de ligações químicas.

O diagrama V consiste em um instrumento heurístico proposto por D. B. Gowin em 1977 (NOVAK, 1998), com o objetivo de analisar o processo de produção do conhecimento. Para tal, considera-se que o conhecimento é produzido a partir das relações existentes entre os elementos que o constituem e a maneira como estes são organizados revela o processo de produção. Uma organização em V informa que a produção do conhecimento é resultante da interação entre dois domínios, um conceitual/teórico (lado esquerdo do “Vê”) e outro metodológico/prático (lado direito do “Vê”). A relação entre esses dois domínios resulta na resposta a uma questão de investigação (centro do “Vê”) referente a determinados acontecimentos ou objetos (base do “Vê”) sobre os quais convergem tais domínios.

O lado conceitual/teórico é constituído pelos elementos visão de mundo, filosofia, teoria, princípios, constructos e conceitos. Já o lado metodológico/prático, é formado pelos elementos juízos de valor, juízos cognitivos, transformação e registros. Segundo Gowin (1981 apud GONZÁLES GARCÍA, 2008), a obtenção de algum juízo de conhecimento leva em consideração a relação entre o lado conceitual/teórico e o lado metodológico/prático.

O “Vê” teve sua origem nas “cinco questões de Gowin” propostas pelo próprio Gowin para a análise de conhecimentos documentados. As cinco questões de Gowin são:

1. Qual(is) a(s) questão(ões)-foco?
2. Quais os conceitos-chave? (Qual a estrutura conceitual?)
3. Qual(is) o(s) método(s) usado(s) para responder à(s) questão(ões)-foco? (Qual a sequência de passos?)
4. Quais os juízos cognitivos? (Qual o conhecimento produzido?)
5. Quais os juízos de valor? (Qual o valor do conhecimento produzido?)

Figura 1- Estrutura e elementos do diagrama V.



Fonte: NOVAK, 1998, p. 81

Assim como o “Vê” as “cinco questões de Gowin” revelam o processo de construção do conhecimento. No entanto, trata-se de uma forma mais simples, porém não tão completa quanto às relações propiciadas pela organização em V (MOREIRA e VEIT, 2010).

A escolha do diagrama V como instrumento avaliativo esteve pautada no referencial teórico que fundamentou este estudo, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por Ausubel e ampliada por Novak e colaboradores. Segundo esses autores, a aprendizagem significativa consiste em um processo por meio do qual o aluno vai adquirindo o conhecimento de forma organizada e progressiva. Desse modo, a avaliação deve fornecer informações sobre os quadros conceituais e proposicionais que o indivíduo possui em sua estrutura cognitiva, e até que ponto o conhecimento foi aprendido de forma substantiva ou não-arbitrária, como é no caso da aprendizagem significativa.

A escolha dos instrumentos avaliativos que serão utilizados na averiguação da aprendizagem dos alunos não ocorre em um vazio conceitual, uma vez que é subsidiada por uma condição pedagógica. Por esta, entende-se o modelo de ensino e aprendizagem, expressos no Projeto Pedagógico (PP). A avaliação, nesse sentido, não é uma finalidade em si mesma, marcada apenas por aspectos puramente tecnológicos de construção de questões, mas visa a auxiliar o planejamento de ações que tem por objetivo um resultado previamente definido (LUCKESI, 2011).

O sistema de avaliação desenvolvido no curso de Química - Licenciatura da UNIFAL-MG, conforme discutido no PP do mesmo, é sustentado por dois pilares: (1) as normas institucionais e (2) as concepções de cada professor sobre o que é avaliar. Ainda em relação ao PP da instituição, pode-se dizer que

A avaliação é realizada a partir de parâmetros advindos da literatura e implicará verificar se o estudante adquiriu noções, realizou operações, relações, etc. O rendimento pode ser avaliado de acordo com a sua aproximação a uma norma qualitativa pretendida. O controle do aproveitamento é apoiado em múltiplos critérios, considerando-se principalmente a assimilação e a aplicação em situações variadas (Universidade Federal de Alfenas-UNIFAL-MG, 2008, p. 40).

O processo avaliativo, na referida instituição, objetiva a qualificação das aprendizagens, de modo a avaliar a construção do conhecimento mediante a capacidade dos discentes em estabelecer relações, realizar operações, adquirir noções. Pode-se observar, portanto, que a qualidade da avaliação é um fator destacado.

Em um projeto de Iniciação Científica (IC) intitulado “O processo de avaliação em Ensino de Química: Estudo de caso de um curso de licenciatura”, realizado por Mendonça (2011), na Universidade Federal de Alfenas, identificou-se que a avaliação desenvolvida por parte de professores de disciplinas específicas consistia na atribuição de notas, visando medir o quanto de conhecimento o aluno adquiriu. Isto é, os dados de aprendizagem não eram utilizados como padrão para a identificação das dificuldades encontradas pelos alunos no processo de ensino e de aprendizagem.

Além do mais, a avaliação se dava preferencialmente pelo instrumento prova composto por questões que não exigiam dos estudantes, interpretação ou reorganização do conhecimento para construir uma resposta. Mas, um conhecimento memorizado, ou seja, uma cópia original do que lhe foi apresentado no material de ensino (MENDONÇA, 2011).

É perceptível que a avaliação com as características discutidas no parágrafo anterior busca avaliar uma aprendizagem automática, estando em desacordo com o que é proposto no PP e no Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) da UNIFAL-MG (2007-2010). Neste último, a avaliação é tida como peça-chave de todo o dispositivo pedagógico, que permitirá reconhecer, em cada momento, quais são as dificuldades que os alunos encontram em seu processo de aprendizagem e quais as melhores estratégias para superá-las.

Entretanto, percebeu-se que, na instituição de ensino superior, é comum o uso de provas que exigem dos alunos a memorização de conhecimentos e, em muitos casos, desprovidos de sentido e de significado. Isso pouco contribui para a perspectiva da construção do conhecimento e para o reconhecimento da própria aprendizagem do aluno. Sem esse propósito, conforme discutido por Luckesi (2005), a avaliação deixa de ser um momento de reflexão, para simplesmente aprovar ou reter um aluno em uma disciplina. Vale ressaltar que a escolha dos instrumentos avaliativos está relacionada com as concepções dos professores. Desse modo, a prática avaliativa não se dá em um vazio conceitual, mas é norteada por um modelo de ensino e de avaliação.

Mediante tais afirmações, esta pesquisa propôs o uso de diagramas V como instrumento avaliativo, por permitir identificar os pontos frágeis da aprendizagem, indo ao encontro dos anseios do PP, o que contribuiu para renovar as práticas avaliativas do curso em questão.

Quanto ao conteúdo da área da ciência química avaliado, pode-se dizer que consiste em um assunto de fundamental importância em Química, pois o seu entendimento é relevante para a compreensão de diferentes aspectos relacionados à estrutura interna da matéria e às propriedades macroscópicas e nanoscópicas das substâncias. Segundo Fernandes e Marcondes (2006), a abstração relacionada ao tema leva ao uso de diferentes modelos e teorias para a compreensão conceitual das tipologias existentes, tornando-se tal assunto bastante complexo e potencializando a geração de concepções alternativas por parte dos estudantes.

Maldaner (2006) relata que um estudante será considerado iniciado em Química, quando, além de saber decifrar a simbologia química, for capaz de conhecer a natureza do pensamento desta Ciência e entender as especificidades metodológicas da produção do conhecimento químico. Desse modo, pode-se dizer que o conhecimento referente ao processo de produção desta Ciência poderá ser mais efetivo caso, durante o processo avaliativo, seja desenvolvida uma análise para além dos aspectos quantitativos.

Diante do contexto apresentado, faz-se necessário um instrumento avaliativo que possibilite aos alunos identificarem quais são os conceitos, as teorias, os registros e as

metodologias, utilizados na produção de um determinado conhecimento, os quais são características peculiares do diagrama em Vê. Assim, pode-se dizer que tal instrumento contribuiria para a avaliação da aprendizagem dos alunos, no que se refere ao conteúdo de ligações químicas.

Ao construir o “Vê”, os alunos são colocados em situações de refletir e de procurar relações entre a tríade evento-fato-conceito, caminhando no sentido de construir uma aprendizagem significativa. Esta é difícil de ser alcançada com o uso de testes objetivos ou de resolução de exercícios com a tendência de se avaliar apenas o conhecimento que, por sua vez, pode ser aprendido mecanicamente (MOREIRA, 2006).

1.1 APLICAÇÕES DO DIAGRAMA V NO PROCESSO ENSINO- APRENDIZAGEM-AVALIAÇÃO

Ao se fazer uma revisão da literatura referente ao uso do diagrama V no processo de ensino-aprendizagem-avaliação, percebeu-se que o referido instrumento foi estudado por vários autores, tanto brasileiros quanto estrangeiros. Os estudos foram realizados em diferentes áreas do conhecimento, como Matemática, Física, Ciências, Química e algumas em disciplinas pedagógicas de cursos superiores.

As investigações envolvendo a temática em questão ocorreram preferencialmente na rede pública de ensino, em nível Médio, Superior e Técnico, com diferentes formas de abordagem, segundo os objetivos pretendidos com o estudo. Dentre as aplicações propostas para o uso do “Vê”, destacaram-se as seguintes:

- 1) análise e planejamento de currículo e de materiais instrucionais;
- 2) ferramenta auxiliar no ensino e na aprendizagem;
- 3) instrumento de avaliação da aprendizagem.

Os trabalhos referentes a cada uma das aplicações citadas serão apresentados nos subtítulos seguintes.

1.1.1 Análise e planejamento de currículo e de materiais instrucionais

A utilização do diagrama V como ferramenta para o planejamento de currículo foi proposta por Murillo, et al. (2004), na área de Ensino de Ciências e da Natureza. Além do “Vê”, os autores fizeram uso dos mapas conceituais. Tais instrumentos auxiliaram na seleção e na organização dos conteúdos a serem ensinados em cada unidade didática, permitindo uma análise prática, estética, moral e social do currículo proposto.

O uso de diagrama V e de mapas conceituais também foi proposto por Albisu; San Martí e González (2006). Tais instrumentos auxiliaram na elaboração de materiais instrucionais referentes à temática “Parque da Taconera de Pamplona”. O estudo foi desenvolvido no curso de Educação Infantil e Primária da Universidade Pública de Navarra, na Espanha. Os mapas conceituais foram de grande importância na seleção e na organização dos conceitos e para expressar as relações existentes entre os mesmos.

A reflexão sobre os aspectos teóricos envolvidos no desenvolvimento do material instrucional ocorreu a partir da construção de diagramas V. Além das contribuições já citadas, os autores ressaltaram que a utilização dos mapas conceituais e de diagramas V favoreceram:

- a) o desenvolvimento da comunicação oral e escrita;
- b) a identificação de dificuldades relacionadas à realização de trabalhos em equipe;
- c) a transposição didática de conteúdos científicos para a sala de aula (ALBISU; SAN MARTÍ e GONZÁLEZ, 2006).

Viveiros e Zuliani (2010) fizeram um estudo sobre as contribuições do uso de mapas conceituais e de diagramas V como estratégia de análise de ensino, de aprendizagem e de avaliação de situações didáticas. Esse estudo foi realizado em uma disciplina de Ensino de Química I da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), na qual foi sugerida a elaboração de minicursos para serem aplicados em escolhas do Ensino Médio. Os mapas conceituais e os “Vês” foram construídos no contexto da escolha e na elaboração dos temas para os minicursos.

A análise dos mapas conceituais e dos diagramas V revelou que estas ferramentas forneceram elementos suficientes para uma análise do nível conceitual, operatório e cognitivo envolvido na tarefa de elaboração dos minicursos. Além disso, permitiu identificar o quanto a tarefa foi aprendida de forma significativa (VIVEIROS e ZULIANI, 2010).

Uma abordagem diferenciada do “Vê” para o planejamento e para a avaliação de atividades educacionais foi proposta por Rocha e Paranhos (2011), envolvendo conteúdos de Biologia Celular, de Histologia, de Bioquímica e de Biologia Molecular. Nesse estudo, as atividades foram planejadas em uma sequência de “Vês”, permitindo o desenvolvimento de um

pensamento reflexivo e crítico acerca do currículo e dos conteúdos ministrados em sala de aula, contribuindo, desse modo, para a autoavaliação.

A partir dos trabalhos de Murillo, et al. (2004); Albisu; San Martí e González (2006); Viveiros e Zuliani (2010) e Rocha e Paranhos (2011), percebeu-se que o uso de diagrama V e de mapas conceituais no planejamento do currículo e de materiais instrucionais, contribuiu para a organização dos conteúdos e dos conceitos de forma sequencial e progressiva. Isso favorece a ocorrência de uma aprendizagem significativa, uma vez que tal organização é direcionada pelos princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora.

1.1.2 Ferramenta auxiliar no ensino e na aprendizagem

Em relação às contribuições do diagrama V, para a promoção da aprendizagem significativa, Sanabria e Ramírez (2004) relataram sobre a relevância deste instrumento no estabelecimento de relações entre o conhecimento teórico e o experimental. O estudo foi realizado na disciplina de Física I, na Universidade Nacional de Táchira na Venezuela, e envolveu o uso de mapas conceituais e de diagramas V. Os mapas atuaram como ferramenta auxiliar para a elaboração dos “Vês”, por revelarem os conceitos e as relações existentes entre eles, para um dado conjunto de conhecimento.

Sanabria e Ramírez (2004) destacaram que o uso dos referidos instrumentos, da forma como proposta contribuiu para a apresentação e desenvolvimento do tema corpos rígidos, trabalhado em aulas teóricas e práticas da disciplina de Física I. Os autores ressaltaram também que o trabalho com o “Vê” foi positivo, pois possibilitou aos alunos estabelecerem estratégias metodológicas para a resolução de situações experimentais com base nas teorias que as embasam.

Batistella (2007) também fez uso do diagrama V em aulas experimentais de Física. Entretanto, o estudo abordou o conteúdo de ótica e foi realizado em uma escola pública, estadual, do município de Lagoa Vermelha/RS. Para tal, a autora elaborou seis módulos didáticos, nos quais foi proposta a realização de atividades experimentais, virtuais e convencionais, momentos nos quais os “Vês” foram elaborados pelos alunos. Essa atividade fomentou a realização de debates, de reflexões e de análises sobre os modelos físicos referentes ao conteúdo de ensino, contribuindo, assim, para a aprendizagem de ótica.

Ainda em relação ao ensino de Física, Ramírez, et al. (2008) revelaram que é comum o uso mecânico de fórmulas e de modelos matemáticos pelos alunos na resolução de problemas. Nesse sentido, os autores elaboraram uma estratégia para o ensino e para a aprendizagem de modelos matemáticos, baseada no uso dos mapas conceituais e do diagrama V. Os mapas conceituais foram propostos com o intuito de revelar a estrutura conceitual relacionada ao processo de modelagem matemática dos fenômenos físicos. Com o “Vê”, buscou-se facilitar o processo de construção do conhecimento sobre o modelo matemático a ser utilizado para a resolução de um determinado experimento.

O trabalho de Ramírez, et al. (2008) revelou que o uso dos instrumentos auxiliou os alunos no processo de propor, de verificar e de explicar os fenômenos físicos. Isso resultou na melhoria da capacidade dos estudantes em comunicar os resultados e em interpretar suas conclusões, ao estudar os fenômenos físicos.

Cappelletto (2009) também propõe o uso do “Vê” para relacionar os domínios teórico e experimental. O estudo foi realizado na disciplina de Física Geral e o uso do diagrama V visou aos seguintes aspectos:

- a) auxiliar na compreensão de textos em aulas teórica;
- b) substituir os tradicionais roteiros em aulas de laboratório;
- c) organizar o ensino, principalmente em aulas práticas.

Segundo a autora, o uso do “Vê” levou os alunos a compreenderem o que é ciência, o que é ser cientista e como o conhecimento é produzido. No entanto, destacou que a eficácia do instrumento é dependente do interesse e do envolvimento do professor no trabalho proposto.

Outra aplicação do Vê na promoção da aprendizagem significativa foi relatada por Pacheco e Damásio (2009), em um estudo realizado na disciplina de Fundamentos de Química, em aulas experimentais de um curso de Malharia e Confecção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Além do “Vê”, os autores também fizeram uso dos mapas conceituais, com o objetivo de:

- a) levantar as concepções prévias dos alunos;
- b) identificar possíveis mudanças resultantes da inserção de novos conceitos;
- c) identificar a presença de novos conceitos e as formas de relação dos mesmos com as concepções prévias.

Pacheco e Damásio (2009) propuseram o uso do “Vê” em substituição aos relatórios tradicionais. Tal aplicação revelou que o referido instrumento contribuiu para que os alunos viessem a refletir sobre a relação existente entre a questão levantada com o experimento e os

aspectos conceituais (referencia teórico) e os aspectos metodológicos (possíveis conclusões). Com relação aos mapas conceituais, estes possibilitaram acompanhar a evolução conceitual dos alunos e o grau de interação e de hierarquização dos conceitos. Assim, o uso dos referidos instrumentos, contribuiu para a promoção de uma aprendizagem significativa, bem como para relacionar teoria e prática.

Hilger; Oliveira e Moreira (2010) também propuseram o uso do diagrama V em contraposição ao relatório tradicional, de modo a facilitar a aprendizagem significativa em aulas experimentais, de Física Geral (Eletromagnetismo) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Ao comparar a elaboração de relatórios tradicionais com o “Vê”, os autores perceberam que, nos primeiros, houve uma tendência padrão dos alunos em forçar os dados experimentais, de modo a comprovar as leis ou as suposições de regularidades, ainda que a natureza da atividade viesse a mostrar o contrário. Porém, com o uso dos diagramas V, a relação entre a teoria e a prática apresentou um entendimento maior. Além disso, os alunos passaram a entender a relevância da previsão teórica em situações de laboratório.

As contribuições do uso do diagrama V na promoção da aprendizagem significativa de conteúdos de Física, em um ensino centrado em Trabalho Experimental (TE), foram investigadas por Saraiva (2010). O estudo foi realizado com professores e com alunos da disciplina de Ciências Físico-químicas de duas escolas de Ensino Médio de Lisboa, uma particular e a outra, pública. A elaboração de mapas conceituais também foi proposta nessa investigação. Quanto ao emprego dos mapas e dos “Vês”, a autora revelou que os mesmos contribuíram para a compreensão dos trabalhos experimentais. Além do mais, os professores relataram que a utilização do diagrama V na elaboração do relatório foi positiva, uma vez que se trata de uma atividade de rápida execução devido à sua simplicidade e, embora seja sintético, é completo e estruturante.

O uso do “Vê” como instrumento auxiliar da aprendizagem significativa em ambientes não-formais de ensino, foi investigado por Damásio; Allain e Pacheco (2010). O trabalho foi realizado no câmpus Araranguá do IF-SC, no curso de Licenciatura em Ciência da Natureza com habilitação de Física. Nesse estudo, os autores propuseram o uso do “Vê” como ferramenta de leitura e de interpretação das atividades desenvolvidas nos lugares visitados, tais como um planetário e um museu de Ciência e Tecnologia.

Para melhor entender, relatar e conceituar os experimentos e outras atividades realizadas nos ambientes não-formais de ensino, os autores promoveram algumas alterações no lado direito do “Vê”. As asserções de valor e de conhecimento foram mantidas conforme o diagrama original. Entretanto, foram inseridos os campos interação, observações e

interpretações. No campo interação, deveria ser registrada a ação que o aluno desenvolveu na realização da experiência/exposição. No campo observação, deveriam ser registrados os efeitos da interação do estudante com a experiência/exposição. Já em interpretação, o aluno deveria discorrer sobre as conclusões conceituais que se pretende obter com a realização da atividade, tomando com base a teoria citada no lado conceitual (DAMÁSIO; ALLAIN e PACHECO, 2010).

Damásio; Allain e Pacheco (2010) relataram que a utilização dos “Vês” adaptados pode contribuir para uma maior reflexão por parte dos estudantes durante a visita a ambientes não-formais. Desse modo, acredita-se que as visitas a tais ambientes serão potencializadas, no sentido de promoverem a aprendizagem significativa.

Outro estudo envolvendo a aplicação do “Vê” como relatório de atividades experimentais, foi investigado por Oliveira (2011) na disciplina de Física Básica de Eletromagnetismo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O “Vê” foi proposto em contraposição ao relatório tradicional, tipo “receita”, em aulas experimentais. Segundo o autor, o uso do diagrama V permitiu incluir itens que levassem os alunos à reflexão sobre as relações envolvidas na atividade experimental como um todo, como filosofia ou visão de mundo. Além do mais, forneceu indícios para possíveis modificações no roteiro e/ou na metodologia utilizada nas aulas de laboratório.

Vieira; Michels e Damásio (2012) sugeriram o uso do diagrama V em aulas práticas do curso de Eletrômecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Nesse estudo, o “Vê” atuou como uma ferramenta potencial de mediação das aulas práticas, de forma a complementar as funcionalidades do relatório. Dentre os objetivos pretendidos com o uso do referido instrumento, tem-se:

- a) a melhoraria da associação da prática laboratorial com o ensino teórico;
- b) o estímulo à produção do conhecimento;
- c) o desenvolvimento da capacidade de buscar soluções.

O estudo revelou que a aplicação do “Vê” no Ensino Técnico apresentou grandes potencialidades. Entretanto, os autores sugeriram que algumas modificações pudessem ser realizadas para facilitar a elaboração dos instrumentos pelos alunos, já que estes apresentaram dificuldades em compreender certos elementos do “Vê” (VIEIRA; MICHELS; DAMÁSIO; 2012).

A partir dos estudos realizados por Sanabria e Ramírez (2004); Batistella (2007); Ramírez, et al. (2008); Cappelletto (2009); Pacheco e Damásio (2009); Hilger; Oliveira e Moreira (2010); Saraiva (2010); Damásio; Allain e Pacheco (2010); Oliveira (2011) e Vieira;

Michels e Damásio (2012), evidenciou-se que o uso dos diagramas V favorece a ocorrência de uma aprendizagem significativa. O seu uso em aulas teórico-práticas propicia o estabelecimento de relações entre teoria e prática, revelando como se dá o processo de construção do conhecimento. Ao elaborar o “Vê”, os alunos são levados a relacionar as novas informações, com aquelas que já possuem em sua estrutura cognitiva, contribuindo, assim, para a reflexão e para a interpretação do conhecimento produzido.

1.1.3 Instrumento de avaliação da aprendizagem

Outra possibilidade de aplicação do “Vê” é no processo de avaliação da aprendizagem dos alunos. Essa aplicação é explorada nos trabalhos de Afamasaga-Fuata (2004); Chrobak e Prieto (2010) e Damasio, et al. (2011). O primeiro destes trabalhos foi realizado na disciplina de matemática, na qual foi proposto o uso de mapa conceitual e diagrama V, com o intuito de avaliar a compreensão de um estudante de graduação sobre equações diferenciais.

Os mapas conceituais foram utilizados para se apresentar os conceitos matemáticos referentes ao tema investigado, devendo-se avaliar a complexidade da estrutura conceitual, a natureza dos conceitos selecionados e a presença de proposições válidas. O “Vê” foi empregado na resolução de problemas matemáticos, tendo sua elaboração orientada pelo uso dos mapas conceituais elaborados em momentos anteriormente (AFAMASAGA-FUATA, 2004).

Afamasaga-Fuata (2004) concluiu que o “Vê” consiste em uma ferramenta útil não só para avaliar a habilidade dos alunos em resolver um problema, mas também para averiguar a profundidade e a extensão da base teórica, mediante a identificação dos princípios matemáticos e dos conceitos subjacentes aos métodos de resolução de problemas.

As potencialidades do diagrama V como instrumento avaliativo também foram discutidas no trabalho de Chrobak e Prieto (2010). O estudo foi realizado em um curso de Teorias e Métodos de Ensino de Ciências, da Universidade Federal de Comahue na Argentina. Os resultados mostraram ser positivo o uso do “Vê” por parte de alunos e professores. Os autores revelaram que a elaboração do instrumento permitiu a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento, levando-os a integrar os diferentes aspectos do saber, corroborando para uma avaliação crítica. Com relação aos professores, o instrumento forneceu uma orientação para a melhoria da avaliação formativa, por permitir uma

participação maior dos alunos na resolução de problemas, além de possibilitar a identificação das necessidades de aprendizagem.

O uso do “Vê” como instrumento para promover a autoavaliação de professores de Física de um curso de Licenciatura em Ciências da Natureza do Instituto Federal de Santa Catarina foi investigado por Damasio e et al. (2011). Nesse estudo os autores fizeram uso dos mapas conceituais, de questões de Gowin e de diagramas V. Para a construção dos “Vês”, foi utilizado um livro da coleção Imortais da Ciência, referente os filósofos pré-socráticos. Nesse caso, o “Vê” consistiu em um instrumento didático para a explicação dos capítulos do livro pelos estudantes. Os alunos puderam revisar e reavaliar seus mapas e diagramas antes de apresentá-los para a classe, permitindo, assim, uma autoavaliação.

Quanto ao uso do diagrama V no processo avaliativo, percebeu-se, a partir dos trabalhos de Afamasaga-Fuata (2004); Damasio, et al. (2011) e Chrobak e Prieto (2010), que tal instrumento permite avaliar a habilidade do aluno em resolver problemas, permitindo-lhe integrar os diferentes aspectos que compõem o conhecimento. A participação ativa do aluno na elaboração do “Vê” favorece o processo de autoavaliação e contribui para a identificação das necessidades de aprendizagem.

1.1.4 Análise crítica dos trabalhos da literatura

Ao se fazer uma leitura crítica dos trabalhos apresentados na literatura, percebeu-se que na grande maioria deles o “Vê” foi utilizado de forma parecida. Isto é, mapas conceituais foram utilizados como instrumentos auxiliares para a elaboração dos Vês, que em muitos casos apresentaram a mesma estrutura daquela proposta por Gowin, salvo a omissão de alguns de seus elementos. Além do mais, os trabalhos concentram-se principalmente no Enisno de Física e poucas discussões foram feitas a respeito das dificuldades encontradas pelos alunos em elaborar o “Vê”.

Quanto ao uso de mapas conceituais como instrumento auxiliar para a elaboração dos Vês, a literatura revela que a familiaridade dos alunos com mapas conceituais facilita a identificação dos conceitos referentes a determinado evento. Assim, ao compreenderem essa técnica os alunos estarão familiarizados com um dos elementos do “Vê”, os conceitos (NOVAK e GOWIN, 1984; GONZÁLES GARCIA, 2008 e TOIGO e MOREIRA, 2012).

Tais colocações contribuem para que o mapa conceitual seja utilizado como ferramenta auxiliar para a elaboração do “Vê”.

Outro ponto a ser destacado, refere-se ao treinamento dos alunos para a elaboração de mapas conceituais e diagramas V. Toiga e Moreira (2012) e Cicuto e Correia (2013) destacam que o potencial dessas ferramentas como estratégia de promover a aprendizagem significativa é dependente da compreensão dos alunos sobre a elaboração das mesmas, o que é obtido mediante treinamento. Nos trabalhos apresentados, contudo, pouca informação sobre esse aspecto e o tempo de uso das técnicas foi fornecida. Além do mais, pouco se comentou sobre os reflexos desse treinamento nos resultados obtidos.

Vale destacar também que uma contradição foi observada entre os trabalhos de Saraiva (2010) e Vieira; Michels e Damásio (2012). O primeiro autor relatou que a elaboração do “Vê” consistiu em uma tarefa de rápida execução devido a sua simplicidade. Os demais autores, contudo, ressaltaram que algumas modificações poderiam ser propostas ao “Vê” de modo a torná-lo de mais fácil elaboração pelos alunos, devido à incompreensão de alguns de seus elementos. Isso reforça a ideia discutida no parágrafo anterior de que os diagramas V apresentam uma metodologia própria para sua elaboração, que deve ser aprendida, sendo assim necessária, a disponibilidade de tempo para a ocorrência da mesma.

Novak e Gowin (1984) revelam que os estudantes podem apresentar dificuldades em elaborar seus primeiros diagramas V, de modo que o professor precisará ajudá-los nessa tarefa. Somando-se a isso se pode fazer menção ao efeito da carga extrínseca na compreensão da elaboração dos diagramas V.

De acordo com a Teoria da Carga Cognitiva (TCC) a memória de trabalho (local onde ocorre o processo cognitivo consciente – memória de curto prazo) é limitada, de modo que os estudantes podem entrar em uma sobrecarga ao se depararem com uma grande quantidade de informação num material instrucional complexo. Isso provavelmente afetará a aquisição dos esquemas e o desempenho do aluno na aprendizagem de determinado conteúdo (AGUIAR, 2012).

Por esquemas entendem-se os constructos cognitivos que incorporam elementos múltiplos de informação em um único elemento com função específica. A memória de curto prazo permite apenas o processamento de informações triviais, contudo, essa capacidade pode ser expandida pela memória de longo prazo (armazena e processa grande quantidade de esquemas, ainda que altamente integrados) (AGUIAR, 2012).

A memória de trabalho resulta do somatório de cargas cognitivas. Essas são classificadas em intrínseca (refere-se ao trabalho mental imposto pela complexidade do

conteúdo); extríntrica (refere-se ao que é desnecessário e que atrapalha a aquisição de esquemas) e germane (refere-se à aquisição e automação dos esquemas). As duas últimas cargas cognitivas são afetadas pela forma como a informação é apresentada e pelas atividades de aprendizagem requeridas. A primeira carga cognitiva, entretanto, não sofre influência dessas variáveis. Vale ressaltar que a extríntrica atrapalha a aprendizagem, enquanto que a germane favorece (AGUIAR, 2012).

O somatório das cargas cognitivas não pode ultrapassar a memória de trabalho, as cargas extríntrica e germane disputam pelo mesmo espaço, desse modo o aumento de uma delas interfere no espaço de memória para a outra. Mas, essa alteração não interfere na demanda exigida pela complexidade do conteúdo (intríntrica). Todavia, se o espaço fornecido for utilizado para a compreensão de itens desnecessários à aquisição de esquemas (extríntrico) a aprendizagem será comprometida. Agora se o uso desse espaço se der pela carga cognitiva germane haverá uma melhora na aprendizagem (AGUIAR, 2012).

Devido ao fato da memória de trabalho ser limitada deve-se fazer o uso do material instrucional de forma compatível com o nível de conhecimento dos estudantes, para que se evitem os efeitos da imposição da carga cognitiva extríntrica. Assim, deve-se planejar cuidadosamente a forma como os diagramas V serão introduzidos na sala de aula, já que os alunos deverão aprender suas técnicas de elaboração. Detalhes sobre a instrução dos mesmos não foram relatados pelos trabalhos em que o Vê foi elaborado pelos estudantes. Desse modo, os efeitos da carga cognitiva extríntrica não puderam ser avaliados.

1.1.5 Contribuições dos trabalhos para este estudo

A partir dessa breve revisão da literatura, foi possível identificar as possibilidades de aplicação do diagrama V no processo de ensino-aprendizagem-avaliação, bem como suas potencialidades e formas de abordagem. Com essas informações, percebeu-se que, o uso combinado de mapas conceituais e de diagrama V fornece dados relevantes sobre a aprendizagem dos alunos, no que se refere à estrutura conceitual de um dado conhecimento e às relações existentes entre os aspectos teóricos e metodológicos envolvidos na produção do conhecimento.

Outro dado relevante sobre os estudos envolvendo o diagrama V referiu-se ao uso dessa ferramenta em uma sequência. Esta permite acompanhar o processo de construção de

uma aprendizagem significativa pelos alunos e, conseqüentemente contribui para a identificação dos pontos frágeis do processo de ensino e de aprendizagem. Além do mais, percebeu-se que o “Vê” é um instrumento que pode ser construído de forma individual ou coletiva, podendo propiciar momentos de reflexão e de autoavaliação. Trata-se também de uma ferramenta flexível, ou seja, algumas alterações podem ser realizadas, a fim de adequá-lo aos objetivos pretendidos. As modificações não podem, porém, descaracterizar o instrumento, de modo que a produção do conhecimento não possa ser revelada a partir da interação entre os domínios conceitual/teórico (lado esquerdo do “Vê”) e o metodológico/prático (lado direito do “Vê”).

Embora os estudos tenham revelado que o “Vê” possa ser aplicado em diferentes áreas do conhecimento, tal instrumento ainda é pouco explorado no ensino de Química. Isso torna relevante o desenvolvimento de pesquisas sobre a aplicabilidade e sobre a potencialidade do uso do diagrama V, na referida área do conhecimento, principalmente no que se refere à avaliação da aprendizagem.

Partindo-se de tais constatações e das experiências evidenciadas com os trabalhos citados, buscou-se neste estudo fazer o uso do “Vê” como instrumento avaliativo, na disciplina de Química Geral, de um curso superior de Química, em aulas teóricas e teórico-conceituais. Mediante a percepção de que é possível adaptar o instrumento, a fim de potencializar ou facilitar sua elaboração pelos alunos, sugeriu-se a inserção de alguns elementos e a omissão de outros. Optou-se também por utilizar os mapas conceituais, porém como parte integrante do “Vê”, o elemento conceito do lado conceitual/teórico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os indivíduos adquirem conhecimento mediante a atribuição de significados idiossincrásicos, aos objetos e aos acontecimentos que os cercam. Partindo desse pressuposto, tomou-se como fundamentação teórica, para este estudo, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por David Ausubel e ampliada por colaboradores.

Como um representante do cognitivismo, Ausubel propõe uma explicação teórica para o processo de aprendizagem, cujo foco está nos conceitos e na aprendizagem proposicional. O autor baseia-se na ideia de que os indivíduos possuem uma estrutura, na qual ocorre o processamento, a organização e a integração do conhecimento (MOREIRA; MASINI, 2001).

2.1 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A ideia central de todo o arcabouço da TAS é a de que o fator isolado de maior relevância para a aprendizagem cognitiva são os conhecimentos que os indivíduos já possuem. Tais conhecimentos devem estar disponíveis na estrutura cognitiva de forma clara, estável e diferenciada (MOREIRA e VEIT, 2010). Entende-se por estrutura cognitiva o conteúdo total de ideias que um indivíduo possui e sua organização. Essa estrutura é adquirida por processos cognitivos, ou seja, aqueles pelos quais se obtém e se utiliza o conhecimento.

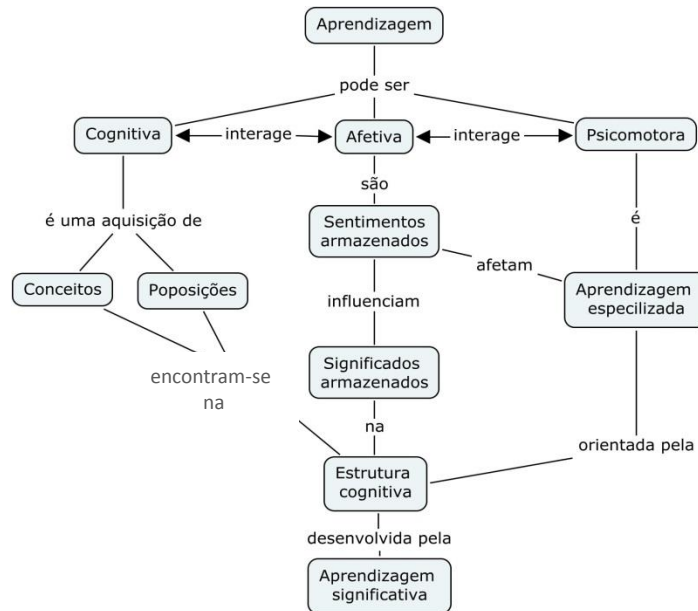
Nesse sentido, as novas ideias e informações serão aprendidas e retidas, se os conceitos relevantes e inclusivos estiverem disponíveis de modo claro na estrutura cognitiva para que possam atuar como âncora para às novas ideias e conceitos. Trata-se de um processo dinâmico, no qual a nova informação e os atributos da estrutura cognitiva são modificados em resultado das relações estabelecidas entre ambos (MOREIRA, 1999).

Além da aprendizagem cognitiva, existem outros dois tipos de aprendizagens, a afetiva e a psicomotora. No entanto, a aprendizagem cognitiva pode acompanhar estes dois últimos, conforme expresso no mapa conceitual da Figura 2.

Com base no mapa da Figura 2, pode-se dizer que os seres humanos apresentam três sistemas distintos, porém interativos de aprendizagem. A aquisição e a organização de informações na mente do aprendiz resultam na aprendizagem cognitiva. A aprendizagem afetiva consiste em sinais internos ao indivíduo, que podem ser detectados mediante

experiências tais como prazer e dor, satisfação ou descontentamento, alegria e ansiedade. Já a aprendizagem resultante das respostas musculares adquiridas por meio de treinos, é denominada de psicomotora (MOREIRA, 2001).

Figura 2- Tipos de aprendizagem humana e a relação entre eles.



Fonte: NOVAK, 1998, p. 26

Os três tipos de aprendizagem são influenciados pela aprendizagem significativa, que por sua vez é subjacente ao desenvolvimento da estrutura cognitiva dos indivíduos. Desse modo, pode-se dizer que a estrutura cognitiva é, ao mesmo tempo, produto da aprendizagem significativa e a variável que mais influencia esse tipo de aprendizagem.

A aprendizagem significativa é um tipo de aprendizagem cognitiva e consiste no conceito mais importante da teoria de Ausubel. Outro tipo de aprendizagem cognitiva proposta pelo autor é a memorística. Esta se contrapõe à significativa. Entretanto, ambas podem ser aprendidas por recepção ou descoberta.

A diferença entre a aprendizagem receptiva e a por descoberta está na forma como o conteúdo daquilo a ser aprendido é apresentado ao aluno. Diferentemente da aprendizagem por descoberta, na receptiva, a apresentação dos conteúdos se dá na forma final, ou seja, os alunos não precisam descobri-los antes de incorporá-los significativamente à estrutura cognitiva. No entanto, em ambos os casos, o conteúdo descoberto ou fornecido, só será significativo se for incorporado de forma não-arbitrária à estrutura cognitiva. Grande parte da aprendizagem acadêmica se organiza, entretanto, de forma receptiva, enquanto que a

aprendizagem por descoberta ocorre preferencialmente na solução de problemas cotidianos (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980).

Da mesma forma como a aprendizagem receptiva é a mais comum no meio acadêmico, espera-se que a aprendizagem significativa seja preponderante em relação à memorística. Ausubel; Novak e Hanesian (1980, p. 23) definem esses dois tipos de aprendizagem, da seguinte forma:

[...] a aprendizagem significativa ocorre quando a tarefa de aprendizagem implica relacionar, de forma não arbitrária e substantiva (não literal), uma nova informação a outras com as quais o aluno já esteja familiarizado, e quando o aluno adota uma estratégia correspondente para assim proceder. Aprendizagem automática, por sua vez, ocorre se a tarefa consistir de associações puramente arbitrárias, como na associação de pares, quebra-cabeça, labirinto, ou aprendizagem de séries e quando falta ao aluno o conhecimento prévio relevante necessário para tornar a tarefa potencialmente significativa, e também (independente do potencial significativo contido na tarefa) se o aluno adota uma estratégia apenas para internalizá-la de uma forma arbitrária, literal (por exemplo, uma série arbitrária).

Das palavras de Ausubel; Novak e Hanesian (1980) pode-se concluir que a aprendizagem significativa consiste naquela em que o significado do novo conhecimento é resultante da interação deste com aqueles relevantes, presentes na estrutura cognitiva do estudante. Esses conhecimentos relevantes são definidos como subsunçores e, por serem mais estáveis e diferenciados, podem funcionar como âncora para a nova informação (MOREIRA; VEIT, 2010).

A atribuição de significados ao novo conhecimento é resultante da interação entre a nova informação e os subsunçores. Nesse processo, os conhecimentos pré-existentes também são modificados, pois se tornam mais ricos e mais elaborados. Vale destacar que a atribuição de significados é uma característica específica da aprendizagem significativa, não sendo observada na aprendizagem mecânica, pois esta última ocorre com pouca ou nenhuma interação com os subsunçores específicos existentes na estrutura cognitiva. Desse modo, o conhecimento que foi adquirido encontra-se distribuído arbitrariamente na estrutura cognitiva (MOREIRA, 2001).

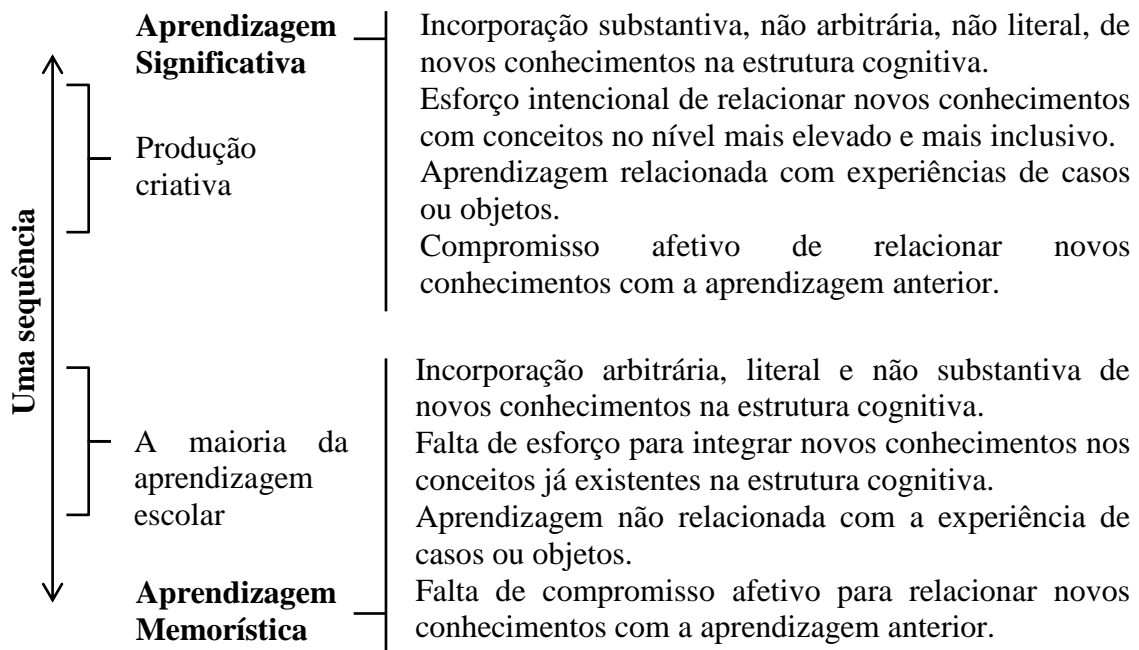
O conhecimento adquirido mediante uma aprendizagem significativa é organizado na estrutura cognitiva, de forma hierárquica. Nesse tipo de organização, os elementos mais específicos do conhecimento, ou seja, aquilo a ser aprendido, é relacionado (assimilado) aos conceitos e às proposições mais gerais ou inclusivas presentes na estrutura cognitiva. Esta,

portanto, consiste em uma estrutura hierárquica de subsunçores, que são na verdade abstrações das experiências dos indivíduos.

Embora a aprendizagem significativa deva ser preponderante, a aprendizagem mecânica é desejável, se não necessária, quando o objetivo é introduzir um novo conteúdo, acerca do qual os alunos não dispõem de conhecimentos prévios. Nesses casos, as primeiras informações serão aprendidas mecanicamente. Entretanto, quando os subsunçores já estão disponíveis na estrutura cognitiva dos estudantes, podendo atuar como âncora para a nova informação, deve-se privilegiar a aprendizagem significativa (NOVAK, 1998). Vale destacar que a aprendizagem memorística, não ocorre em um vazio cognitivo, pois a nova informação é relacionável à estrutura cognitiva, ainda que esta relação seja arbitrária, literal e não resulte em aquisição de significados.

Ainda que existam diferenças conceituais entre a aprendizagem significativa e a memorística, não se trata de uma dicotomia, mas, sim, como um contínuo. Assim, pode-se dizer que existe uma sequência na aprendizagem, desde a puramente memorística até a altamente significativa, conforme representado na Figura 3 (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN,1980).

Figura 3- Sequência da variação da aprendizagem humana.



Fonte: NOVAK, 1998, p. 20

A Figura 3 evidencia que existem casos de aprendizagem intermediários à significativa e à mecânica. Desse modo, uma aprendizagem pode ser inicialmente mecânica e tornar-se

progressivamente significativa, à medida que as relações entre as novas informações e os subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva vão se tornando não arbitrária e substantiva conforme os alunos apresentem uma predisposição para aprender.

Quando a aprendizagem significativa se fizer mais relevante do que a memorística, é fundamental a existência prévia de subsunçores na estrutura cognitiva dos indivíduos. Caso esses conceitos subsunções não estejam disponíveis, Ausubel; Novak e Hanesian (1980) propõem o uso de organizadores prévios como uma estratégia para desenvolvê-los e facilitar a aprendizagem significativa.

Os organizadores prévios consistem em materiais introdutórios que são apresentados aos alunos antes do material de aprendizagem. A apresentação se dá em um nível mais alto de abstração, de generalidade e de inclusividade. Assim, funcionam como “pontes cognitivas” entre o que o aluno já sabe e aquilo que ele deve aprender. Desse modo, podem fornecer “ideias âncoras” necessárias à aprendizagem significativa e/ou estabelecer relações entre ideias, proposições e conceitos já presentes na estrutura cognitiva dos indivíduos e aqueles presentes no material de aprendizagem (MOREIRA e VEIT, 2010).

Para que a aprendizagem significativa ocorra, além de os alunos apresentarem em suas estruturas cognitivas os conhecimentos prévios, outras duas condições devem ser satisfeitas simultaneamente:

- 1) o material instrucional (aulas e textos, por exemplo) deve ser potencialmente significativo;
- 2) o aluno deve demonstrar predisposição para aprender.

Por material potencialmente significativo, entende-se aquele que é relacionável à estrutura cognitiva do aluno. Já a predisposição, é revelada quando o estudante não tem a intenção de memorizar os conteúdos de maneira mecânica. Entretanto, se essa predisposição não for evidenciada, ainda que o material seja potencialmente significativo, esse poderá ser apenas memorizado (MOREIRA, 2001).

2.1.1 A construção de novos significados

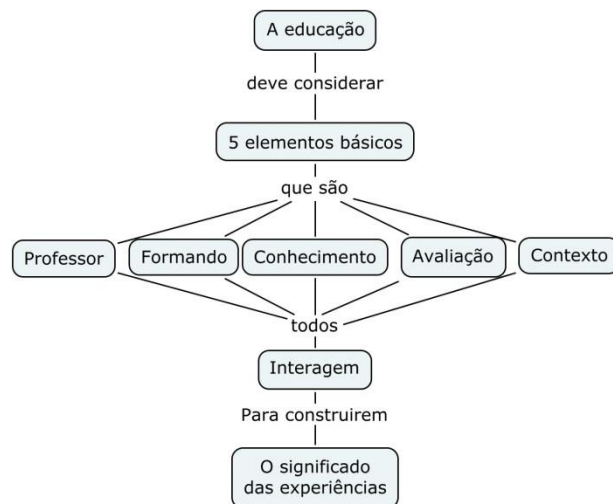
A manifestação de novos significados evidencia a ocorrência de um processo de aprendizagem significativa. Segundo Novak (1998), todo ser humano, desde o nascimento, busca atribuir significados para os acontecimentos e objetos que o cerca. Tais significados são

dependentes do que o indivíduo já conhece sobre o fenômeno observado. Assim, o significado é uma função do pensamento, dos sentimentos e das ações ao longo da experiência de cada um e, portanto, são idiossincráticos.

A ideia de que os homens pensam, sentem e atuam, consiste nas premissas da teoria de Novak. Este foi colaborador de Ausubel, contudo apresentou uma teoria mais ampla, da qual a TAS faz parte. Para Novak (1998), o evento educativo consiste em uma ação, na qual são trocados significados (pensar) e sentimentos entre os formandos e o professor.

A teoria de educação de Novak é fundamentada em cinco elementos, conforme especificado no mapa conceitual da Figura 4.

Figura 4- Os cinco elementos da educação.



Fonte: NOVAK, 1998, p. 11

Os cinco elementos da educação de Novak (FIGURA 4) foram elaborados com base nos “quatro lugares comuns” da educação de Joseph Schwab propostos em 1973. Esses lugares eram: formando, professores, assuntos e meios. Novak incluiu um quinto, a avaliação e, em vez de utilizar o termo lugares-comuns, optou-se pelo termo elementos, pois estes constituem os infinitos eventos educativos. Desse modo, todos os elementos estarão presentes em um caso educativo e se combinarão para construir ou para reconstruir os significados das experiências dos indivíduos (NOVAK, 1998).

A inserção do referido elemento justificou-se pelo fato de que tudo que acontece na vida das pessoas envolve a avaliação. O mesmo se dá em um evento educativo, no qual os alunos adquirem conhecimentos em um dado contexto mediante a interação com o professor, ou com algo que o substitua. O objetivo dessa interação é a aprendizagem significativa de um novo conhecimento contextualmente aceito. A aprendizagem significativa é entendida por

Novak como sendo “[...] subjacente à integração construtiva do pensamento, dos sentimentos e das ações que levam à capacitação humana quanto ao compromisso e à responsabilidade” (1998, p. 15). Assim, a aprendizagem significativa requer a geração de integração construtiva entre o pensar, o sentir e o agir, levando ao engrandecimento humano.

Além dos princípios da TAS expostos por Ausubel, Novak acrescenta mais alguns, dentre os quais se destacam os seguintes:

a) o conhecimento humano é construído e a aprendizagem significativa é subjacente a este;

b) os significados são contextuais, assim a aprendizagem significativa não implica necessariamente a aquisição de significados corretos;

c) os conhecimentos que são adquiridos por aprendizagem significativa são resistentes à mudança;

d) a avaliação da aprendizagem precisa buscar evidências de uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999).

A atribuição de significado aos novos conhecimentos resulta da interação entre estes, com os significados claros, estáveis e diferenciados daqueles conhecimentos previamente existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Esse processo é mediado pelo professor de modo que, ao ensinar, apresenta aos alunos os significados que são aceitos como válidos pela comunidade científica. Os alunos, por sua vez, externalizam os significados que estão captando. Esse processo de negociação se mantém até que os alunos compartilhem os significados cientificamente aceitos. Isso revela uma aprendizagem significativa (NOVAK, 1998).

Vale ressaltar que nem toda aprendizagem significativa será “correta”, uma vez que os subsunçores, com os quais a nova informação estabelece relações não-arbitrária e não-literal poderão não compartilhar dos mesmos significados aceitos pela comunidade de usuários. Todavia a ocorrência de aprendizagem significativa não requer necessariamente que os significados atribuídos estejam corretos do ponto de vista científico (MOREIRA, 1999).

Geralmente, os significados que os alunos trazem para a sala de aula não se referem àqueles que são aceitos no contexto da matéria de ensino, mas muitas vezes são resultantes de concepções alternativas. Tais concepções consistem em interpretações inaceitáveis de um dado conceito, porém isso não significa que sejam necessariamente errôneas do ponto de vista do senso comum (NOVAK e GOWIN, 1996). Entretanto, ao se tomar como base o contexto de ensino, pode-se considerá-las como errôneas, uma vez que não são compartilhadas pela comunidade científica.

Segundo Moreira (1998), as concepções alternativas são construídas pelos alunos à medida que eles vão se situando no mundo em que vivem e são, desse modo, representações, conceitos, teorias e modelos, que os indivíduos elaboram para explicar os objetos e acontecimentos que os cercam. Na maioria das vezes, são adquiridas mediante uma aprendizagem significativa, servindo de “âncoradouro” para a nova informação, tornando-se cada vez mais estáveis e diferenciadas. Por isso, são difíceis de serem substituídos por significados aceitos no contexto da matéria de ensino, pois foram incorporadas na estrutura cognitiva dos indivíduos de forma não-arbitrária e não-literal, passando a fazer parte da estrutura cognitiva dos mesmos.

Um ponto a ser destacado é que, no curso da aprendizagem significativa, o significado lógico dos materiais de ensino é transformado em significado psicológico. O primeiro deles refere-se ao significado daquilo que é intrínseco a determinados tipos de materiais simbólicos, segundo a natureza deste material. Já o significado psicológico (real ou fenomenológico) consiste em uma experiência cognitiva totalmente idiossincrática. O caráter idiossincrático não elimina, porém, a possibilidade da existência de significados sociais ou daqueles que são compartilhados por diferentes indivíduos (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980).

A transformação do significado lógico em psicológico não depende apenas da apresentação aos alunos de um material que evidencie “logicidade”, isto é, aquele que é incorporável à estrutura cognitiva de um indivíduo particular, mediante relações não-arbitrárias e substantivas. A emergência do significado psicológico depende também do novo conhecimento que foi incorporado ao conteúdo ideacional do indivíduo. Assim, como exemplificado por Ausubel; Novak e Hanesian (1980), o significado psicológico da seguinte proposição “os advérbios são palavras que modificam os verbos” só será evidenciado se o indivíduo compreende o que são modificadores e verbos.

2.1.2 Tipos de aprendizagem significativa

A aprendizagem significativa pode ser classificada quanto aos seguintes critérios:

- a) ao que se aprende;
- b) a como se aprende.

Desse modo, a aprendizagem receptiva significativa pode ser classificada em representacional, conceitual, proposicional, subordinada, superordenada e combinatória. As

três primeiras referem-se ao que é aprendido e as três últimas a como se aprende. Embora consistam em aprendizagens com determinadas particularidades, uma não exclui a outra (MOREIRA e VEIT, 2010).

Segundo Ausubel; Novak e Hanesian (1980), a aprendizagem representacional é o tipo mais simples de aprendizagem significativa, porém condiciona os demais. Esse tipo de aprendizagem consiste no processo pelo qual os indivíduos aprendem o significado de símbolos particulares (geralmente palavras) ou, ainda, aprendem o que estes símbolos representam. Assim, para os estudantes, as novas palavras passam a significar as mesmas coisas que os referentes e remetem ao mesmo conteúdo significativo diferenciado. Desse modo, reconhecem uma palavra, um sinal ou um símbolo como o rótulo para um objeto ou para um acontecimento específico, ou para categorias de acontecimentos ou objetos (NOVAK, 1998).

Um exemplo de aprendizagem representacional fornecido por Ausubel; Novak e Hanesian (1980) refere-se à aprendizagem do significado da palavra “cachorro”. Segundo os autores, esse tipo de aprendizagem está relacionado ao entendimento de que o som da palavra “cachorro” que já é potencialmente significativo, porém ainda não apresenta significado para a criança, representa o mesmo que o objeto-cachorro, que está sendo percebido no momento da aprendizagem. Essa proposição de equivalência representacional é incorporada de forma não-arbitrária e substantiva a aspectos relevantes da estrutura cognitiva da criança.

Quando a compreensão de que diferentes referentes apresentam diferentes nomes e de que diferentes exemplares de um mesmo referente designam-se pelo mesmo nome, estiver solidificada na estrutura cognitiva da criança, estabelece-se a base para toda a aprendizagem representacional seguinte. Assim, quando uma nova proposição de equivalência for apresentada (“cachorro” é representacionalmente equivalente a diferentes objetos-cachorros), a criança poderá relacioná-la de forma não-arbitrária e substantiva àquela mais generalizada presente em sua estrutura cognitiva (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980).

Ao fim do processo de aprendizagem representacional, a palavra cachorro será capaz de levar à formação de uma imagem composta por vários objetos-cachorros. A aquisição de um significado mais genérico da referida palavra servirá de significante para o conceito cultural de “cachorro” (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980).

A aprendizagem conceitual também é uma aprendizagem de representações, uma vez que os conceitos se representam por símbolos isolados (palavras-conceitos, nomes dos conceitos). Conceitos na definição de Ausubel; Novak e Hanesian (1980) são “[...] objetos, eventos, situações, ou propriedades que possuam atributos essenciais comuns que são

designados por algum signo ou símbolo” (p. 47). Nesse sentido, conceitos são genéricos, categorias, representam as regularidades percebidas em objetos, eventos, fenômenos que apresentam variedades ao longo de distintas dimensões, porém compartilham determinados atributos e determinadas características (MOREIRA e VEIT, 2010).

Aprender qual é o conceito representado por um dado significado novo, ou vice-versa, consiste em um tipo mais complexo de aprendizagem representacional, pois consiste em representar um conceito recém-adquirido por uma única palavra que seja equivalente ao mesmo em significado. Todavia, aprender um conceito requer aprender seus atributos essenciais (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980).

A aprendizagem conceitual pode ocorrer de duas formas:

a) formação de conceitos;

b) assimilação de conceitos, sendo que a primeira ocorre comumente em crianças em idade pré-escolar, e a segunda, em crianças em idade escolar e adulta (NOVAK, 1998). Na formação de conceitos, os atributos essenciais do conceito são adquiridos mediante experiências diretas e por meio de estágios sucessivos de formulação de hipóteses, de teses e de generalizações. Assim, por exemplo, o conceito “cachorro” será aprendido à medida que forem sendo estabelecidos encontros sucessivos da criança com cachorros, gatos, vacas e outros animais, até que os atributos essenciais que se referem ao conceito cultural de “cachorro” sejam generalizados.

Segundo Ausubel; Novak e Hanesian (1980), o signo cachorro é geralmente aprendido antes do conceito, mas o inverso também pode acontecer. Em alguns casos, a aprendizagem representacional pode preceder a conceitual. Isso irá ocorrer quando o rótulo for aprendido antes dos atributos genéricos ou quando as regularidades dos acontecimentos ou objetos foram reconhecidas. No momento em que as crianças perceberem que todos os cachorros têm características em comum, elas terão adquirido o conceito.

Todavia a aprendizagem conceitual também pode ocorrer antes da representacional. Nesse caso, a criança irá reconhecer semelhanças e diferenças entre cachorros, gatos, leões e tigres antes mesmo de aprenderem a palavra “carnívoro” que rotula ou representa este grupo de animais (NOVAK, 1998).

Quando o vocabulário da criança aumenta, os novos conceitos passam a ser aprendidos mediante o processo da assimilação de conceitos. Nesse caso, os atributos essenciais dos novos conceitos se definem a partir de novas combinações de referentes que estão disponíveis na estrutura cognitiva da criança (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980).

Novak (1998) relata que não existe uma diferença entre o processo que as crianças utilizam para aprender nomes dos objetos e acontecimentos e aquele que os adultos usam para construir novos conceitos, uma vez que ambos consistem em aprendizagens significativas. Além do mais, os significados dos conceitos aumentam à medida que os rótulos conceituais se ligam uns aos outros, formando proposições acerca dos objetos e/ou dos acontecimentos.

A aprendizagem proposicional é mais complexa do que a aprendizagem do significado das palavras. Segundo Novak (1998), uma proposição resulta da combinação de duas ou mais palavras que formam uma afirmação referente a um dado acontecimento, objeto ou ideia. Contudo o significado de uma proposição verbal não é o mesmo que a soma dos significados das palavras (geralmente representam conceitos) que a constitui e nem resulta do estabelecimento de equivalências representativas, mas, sim, da captação de significados de ideias que são expressas na forma de proposições (MOREIRA e VEIT, 2010).

Ainda em relação à aprendizagem proposicional, Ausubel; Novak e Hanesian (1980, p. 40) relatam que nesse tipo de aprendizagem o que se aprende é:

[...] o significado de uma nova estrutura no sentido de que: (1) a estrutura proposicional propriamente dita é o resultado da combinação de várias palavras isoladas que se relacionam entre si, cada uma representando uma unidade referencial; e (2) as palavras isoladas combinam-se de tal forma que compõem um todo (em geral, a nova estrutura resultante é mais do que a simples soma das partes).

Nesse sentido, segundo os autores, a aprendizagem proposicional requer a aprendizagem do significado de novas ideias que são expressas por meio de proposições. Desse modo, para que essa aprendizagem se efetive, é preciso primeiramente ter a compreensão do significado dos termos componentes, ou o que os mesmos representam. Isso, por sua vez, exige uma aprendizagem representacional. Assim, a aprendizagem representacional é um pré-requisito para a aprendizagem proposicional.

Em relação ao contínuo aprendizagem memorística → aprendizagem significativa (FIGURA 3), Ausubel; Novak e Hanesian (1980) destacam que a aprendizagem representacional é a que mais se aproxima de uma aprendizagem memorística. Já a aprendizagem conceitual e a representacional, podem alcançar as formas mais complexas de aprendizagem significativa.

Conforme já destacado, a aprendizagem significativa pode ser classificada em subordinada, superordenada e combinatória, de acordo com a maneira como se aprende. Quando a nova informação adquire significado mediante o estabelecimento de relações com

aspectos relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva dos indivíduos, a aprendizagem resultante é denominada subordinada (MOREIRA e VEIT, 2010). Nesse tipo de aprendizagem, existe uma relação de subordinação entre a nova informação e os subsunçores presentes na estrutura cognitiva. Assim, as proposições potencialmente significativas são subordinadas às ideias mais gerais e abrangentes da estrutura cognitiva (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980).

A aprendizagem subordinada ocorre nas aprendizagens conceitual e proposicional e pode ser classificada em subordinação derivativa ou subordinação correlativa. A primeira ocorre quando o novo conhecimento é compreendido como uma exemplificação, uma corroboração, um apoio, da ideia subsunçora. Caso esse conhecimento consista em uma extensão, elaboração, modificação, delimitação, do subsunçor, tem-se a subordinação correlativa (MOREIRA e VEIT, 2010).

A aprendizagem superordenada ocorre quando a nova informação é aprendida significativamente, mediante relações de superordenação. Isso significa que um conceito ou uma proposição potencialmente significativa, mais geral e inclusiva, “A”, do que as ideias presentes na estrutura cognitiva, “a₁”, “a₂”, “a₃”, é relacionada a estes conhecimentos preexistentes, de modo que passa a abrangê-los e assimilá-los (MOREIRA, 1999).

De acordo com Ausubel; Novak e Hanesian (1980) a aprendizagem superordenada é mais comum na aprendizagem conceitual do que na proposicional. A aprendizagem significativa de proposições novas que não ocorrem por meio de uma relação de subordinação ou de superordenação, com aspectos relevantes da estrutura cognitiva, adquirem significado mediante a aprendizagem combinatória.

Na aprendizagem combinatória, a relação da nova informação não se dá com conceitos ou proposições específicas presentes na estrutura cognitiva, mas com um conteúdo amplo ou com um todo relevante. Assim, a nova proposição não pode ser assimilada por outras já estabelecidas na estrutura cognitiva nem ao menos pode assimilá-las (MOREIRA, 1999). Por isso, a proposição combinatória é menos relacionável ou subordinada ao conhecimento anteriormente adquirido e, desse modo, pode ser inicialmente mais difícil de aprender e de lembrar quando comparada às proposições subordinativas ou superordenadas.

Embora as proposições combinatórias sejam aprendidas menos facilmente, apresentam-se estáveis na estrutura cognitiva assim como os demais tipos de aprendizagens. Além do mais, podem resultar em proposições derivativas e correlativas (análise e diferenciação) e, mais raramente, porém possível, aprendizagem superordenada (generalização e síntese) (AUSUBEL; NOVAK e HANESIAN, 1980).

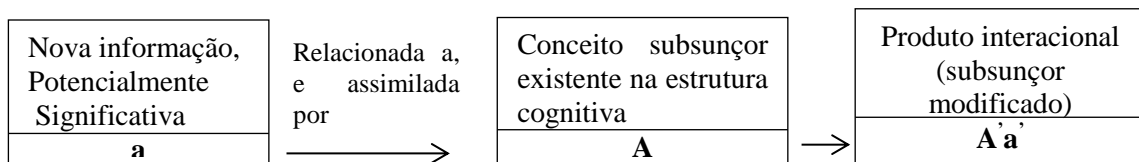
Como comentado no início deste subtítulo, os dois critérios de classificação da aprendizagem receptiva significativa, não são excludentes. Assim, a aprendizagem conceitual pode ser subordinada, superordenada e, em menor proporção, combinatória. A aprendizagem proposicional, por sua vez, pode ser subordinada, superordenada ou combinatória.

2.1.3 Teoria da assimilação

A Teoria da Aprendizagem Significativa fundamenta-se no pressuposto de que a aquisição de novos conhecimentos é dependente de ideias relevantes presentes na estrutura cognitiva dos indivíduos. Essa aprendizagem será significativa quando a nova informação interagir de forma não-arbitrária e substantiva com os subsunçores. O resultado dessa interação é denominado assimilação dos significados antigos e novos, originando uma estrutura mais diferenciada.

Esquemáticamente, a Teoria da Assimilação pode ser representada conforme sugerido por Moreira (1999), na Figura 5.

Figura 5- Esquema da assimilação



Fonte: Modificado de MOREIRA, 1999, P. 157

A partir do esquema da Figura 5, pode-se dizer que a assimilação é o processo pelo qual um conceito ou uma proposição, “a”, potencialmente significativo, é assimilado por uma ideia ou um conceito mais geral, “A”, presente na estrutura cognitiva, como um exemplo, uma extensão, uma elaboração ou uma qualificação do mesmo. O produto dessa interação, “a’A’”, resulta na modificação não só da nova informação, mas também do subsunçor que se torna mais inclusivo (MOREIRA, 2001).

A Teoria da Assimilação permite explicar as aprendizagens subordinada, superordenada e combinatória, descritas no subtítulo anterior, uma vez que Ausubel; Novak e Hanesian (1980) consideram que em todos estes casos de aprendizagens ocorre a assimilação de significados novos aos antigos. Assim, na aprendizagem subordinada, a nova informação

interage com aspectos relevantes da estrutura cognitiva (subsunçores), contribuindo para sua estabilidade, elaboração, enriquecimento e modificação. Na aprendizagem superordenada, ideias já estabelecidas na estrutura cognitiva são reconhecidas como exemplos mais específicos da nova informação e se subordinam às mesmas. Já na aprendizagem combinatória, a nova informação se relaciona com o conhecimento presente na estrutura cognitiva, mas não é visto como mais específico (subordinado) ou como mais abrangente (superordenado) do que eles (MOREIRA e VEIT, 2010).

A assimilação pode ser entendida como uma facilitadora da retenção das informações assimiladas. Isso se dá devido ao fato de que tais informações permanecem dissociáveis como unidades individuais, isto é, o produto interacional “A a’”, durante um determinado período de tempo, é dissociável em “A’” e “a’”, favorecendo, assim, a retenção de “a’”. Embora a assimilação favoreça a retenção do novo conhecimento, vale ressaltar que o mesmo está sujeito a influências erosivas de uma tendência reducionista da organização cognitiva. Esta tende a reter mais facilmente ideias, conceitos e proposições mais gerais e estáveis do que as ideias novas que foram assimiladas (MOREIRA, 1999).

Após a aprendizagem significativa, ocorre o segundo estágio da assimilação, a assimilação obliteradora. Nesse processo, as novas informações vão se tornando menos dissociáveis de seus subsunçores, até que não estejam mais disponíveis, atingindo um grau de dissociabilidade nulo e “A a’” reduz-se somente a “A’”. O subsunçor não volta a sua forma anterior, pois o produto da assimilação obliteradora é “A’”, o membro mais estável do produto “A a’”, ou seja, o subsunçor modificado. Assim, pode-se observar que o esquecimento consiste em uma continuação temporal da assimilação, que é o processo facilitador da retenção (MOREIRA, 2001).

Segundo Novak (1998), a recordação das informações é dependente do processo de aprendizagem. Na aprendizagem memorística, as informações aprendidas não foram “ancoradas” a elementos importantes da estrutura cognitiva e, por isso, têm apenas uma ligação mínima com a mesma. Já na aprendizagem significativa, as novas informações são “ancoradas” a subsunçores existentes na estrutura cognitiva. Assim, as informações aprendidas memoristicamente não podem ser recordadas após várias horas ou dias da ocorrência da aprendizagem. No entanto, aquelas aprendidas significativamente podem ser recordadas durante várias semanas ou meses após sua aquisição.

Embora as informações aprendidas significativamente sejam recordadas mais facilmente, não são retomadas da mesma forma como foram apresentadas, assim como se dá na aprendizagem por memorização. Isso ocorre devido à subsunção que resulta em algumas

alterações das informações armazenadas. Assim, as informações armazenadas podem surgir de forma ligeiramente diferente daquela inicialmente aprendida, já que as informações recordadas podem ser influenciadas por atributos mais gerais advindos dos subsunçores aos quais foram “ancoradas”. Além do mais, após a subsunção obliteradora, as informações aprendidas já não são recuperadas, pois o que se tem são ideias melhoradas que podem facilitar aprendizagens futuras (NOVAK, 1998).

2.1.4 Diferenciação progressiva e reconciliação integradora

No curso da aprendizagem significativa, os conceitos são desenvolvidos, elaborados e diferenciados, à medida que a nova informação interage com os conhecimentos prévios, resultando na aquisição de novos significados. A ocorrência desse processo uma ou mais vezes leva à diferenciação progressiva do conceito subsunçor. A diferenciação progressiva da estrutura cognitiva também ocorre quando novos conceitos são adicionados à estrutura cognitiva, mediante a aprendizagem significativa, ou quando segmentos preexistentes na estrutura cognitiva são reestruturados (NOVAK, 1998).

Nesse sentido, Ausubel; Novak e Hanesian (1980) relatam que, para um melhor desenvolvimento conceitual, os conceitos mais gerais e inclusivos devem ser introduzidos primeiro, para posteriormente, serem diferenciados progressivamente, em termos de detalhes e de especificidades. Esse pressuposto baseia-se no fato de que os seres humanos apresentam maior facilidade em captar os aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo, do que em atingir o todo a partir de suas partes previamente aprendidas. Além do mais, a estrutura cognitiva dos indivíduos apresenta uma organização de natureza hierárquica, na qual as ideias mais gerais encontram-se no topo e “ancoram” progressivamente aquelas menos inclusivas e mais diferenciadas.

A diferenciação progressiva é um processo que ocorre quase sempre na aprendizagem significativa subordinada. Na aprendizagem superordenada, ou combinatória, por sua vez, ocorre o processo da reconciliação integradora. Este consiste na recombinação de elementos previamente existentes na estrutura cognitiva. Desse modo, as novas informações são adquiridas e os elementos presentes na estrutura cognitiva podem reorganizar-se e adquirir novos significados (MOREIRA, 1999).

Quanto à indução de reconciliação integradora mediante a instrução, Ausubel; Novak e Hanesian (1980) revelam que se devem explorar as relações entre as ideias, apontar as semelhanças e diferenças importantes bem como reconciliar as discrepâncias reais ou aparentes. Ainda segundo os autores, a reconciliação integradora é uma espécie de antítese à prática usual dos livros textos em separar ideias e tópicos em capítulos e seções.

Novak (1998) destaca que a inserção de conceitos num traço hierárquico faz com que os significados de todos os conceitos sejam alterados, pelo menos ligeiramente, devido à existência de conexões significativas, verticais e horizontais, ao longo da estrutura cognitiva. Desse modo, quando ocorre a reconciliação integradora, tem-se simultaneamente um melhoramento ou uma diferenciação progressiva da estrutura cognitiva. Assim, toda aprendizagem que resultar em reconciliação integradora resultará também em diferenciação progressiva adicional de conceitos e de proposições, pois a reconciliação integrativa é um tipo de diferenciação progressiva da estrutura cognitiva que ocorre no curso da aprendizagem significativa.

2.2 AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Ensinar, segundo Gowin consiste em um momento no qual significados são compartilhados entre professores e alunos, por meio do uso de materiais educativos do currículo, a fim de que ambos alcancem significados em comum. Nesse processo, o professor busca fazer com que os alunos confirmem aos materiais os significados desejados. E os alunos procuram atribuir aos materiais os significados esperados pelo professor (MOREIRA, 1999).

O ensino realiza-se quando alunos e professores atingem propriedade acerca dos significados em discussão. A assimilação de significados demanda que os alunos relacionem as novas informações trazidas à aula com o conhecimento que possuíam anteriormente (MOREIRA, 1999). Cabe aos alunos, além de analisar as possíveis relações entre conhecimento novo e conhecimento prévio, avaliar o potencial dos significados emergentes na sua interação com o ambiente social e natural, para poder decidir sobre sua aprendizagem. Nesse momento, a avaliação pode ser de grande ajuda, por possibilitar ao aluno refletir e organizar suas ideias de forma sistemática.

Segundo Luckesi (2011), a avaliação pode ser entendida como julgamento de valor sobre manifestações relevantes da realidade, objetivando uma tomada de decisão. O juízo de

qualidade sobre as manifestações relevantes que Luckesi traz para o contexto da avaliação pode ser interpretado como um modo de atribuir valores às relações que são estabelecidas entre o desempenho real e o esperado, isto é, o ato de avaliar consiste na busca do melhor e mais satisfatório estado daquilo que é avaliado. Trata-se de um mediador entre o que existe e aquilo que deve existir; entre o que é, e aquilo que poderia vir a ser.

Nessa perspectiva, a avaliação desempenha papéis de grande relevância no processo de ensino e de aprendizagem, uma vez que é por meio dela que é possível:

- a) fazer um levantamento sobre os conhecimentos prévios dos alunos antes da instrução;
- b) acompanhar a aprendizagem destes, permitindo, assim, apontar caminhos para se alcançar uma aprendizagem mais significativa;
- c) identificar se os métodos de ensino têm contribuído para tal aprendizagem;
- d) estabelecer previsões sobre a melhor forma de organizar o currículo.

Desse modo, evidencia-se que a avaliação é processual, ou seja, não se preza a julgar uma aprendizagem alcançada em curto prazo. Assim, pode-se dizer que a avaliação ocorre em momentos distintos do processo educativo, antes, durante e após a instrução (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

Partindo-se do pressuposto de que a avaliação deve buscar o melhor resultado possível, o ato de avaliar implicará dois processos articulados e indissociáveis: diagnosticar e decidir. O diagnóstico envolve outros dois atos: a constatação e a qualificação do objeto da avaliação. A constatação expressa a configuração do objeto, tendo por base suas propriedades presentes no momento.

A constatação oferece a “base concreta” para a outra parte do ato de diagnosticar que é qualificar, ou seja, atribuir uma qualidade, positiva ou negativa, do que está sendo avaliado. Essa qualificação não ocorre, porém, no vazio, ela é estabelecida a partir de determinado padrão e critério de qualidade que se tem previamente, ou que se estabelece para o objeto avaliado. Este, embora possua as mesmas propriedades, pode apresentar contextos diferentes, revelando que, no exercício da avaliação, considerar apenas os dados em foco não é suficiente. Deve-se considerar o quadro de referência e de significados, utilizado nos critérios de qualificação (LUCKESI, 2005).

Para proceder à constatação, três pontos devem ser considerados:

1. Dados relevantes;
2. Instrumentos;

3. Utilização dos instrumentos.

Os dados relevantes são os ditos essenciais, ou seja, aqueles que estão definidos no planejamento de ensino, a partir de uma teoria pedagógica, e que foram traduzidos em práticas educativas nas aulas. Quaisquer que sejam os instrumentos: questionário, teste, redação, monografia, dramatização, participação em seminário, arguição e outros, estes necessitam manifestar qualidades satisfatórias como instrumentos para serem utilizados na coleta de dados para a avaliação da aprendizagem escolar. Isso implica que os instrumentos sejam:

1. Condizentes com o tipo de conduta e de habilidades que se está avaliando (informação, compreensão, análise, síntese e aplicação);
2. Condizentes com os conteúdos essenciais planejados e de fato realizados no processo de aprendizagem (o instrumento necessita contemplar todos os conteúdos considerados essenciais numa determinada abordagem de ensino);
3. Condizentes na linguagem, na clareza e na precisão da comunicação (importa que o educando compreenda exatamente o que está sendo pedido);
4. Condizentes com o processo de aprendizagem: um instrumento não deve dificultar a aprendizagem do educando, mas, ao contrário, servir-lhe de reforço do que já aprendeu; responder as questões essenciais significa aprofundar as aprendizagens já realizadas, reorganizá-las, ressystematizá-las (LUCKESI, 2005).

O segundo passo fundamental do diagnóstico é a qualificação do objeto da avaliação. Esta se dá com base nos dados relevantes e busca responder à seguinte pergunta: “que qualidade se atribuiu a essa realidade configurada?”. Os dados, por sua vez, devem retratar o estado de aprendizagem de cada educando. A partir disso, é preciso saber se este estado é satisfatório ou não. Para tal, é necessário qualificar o desempenho, manifestado por meio dos dados coletados. Isso pode ser feito, mediante o emprego de um padrão de qualificação. Todo ato de avaliar opera por esse processo comparativo entre realidade e critério de qualificação. Assim como a qualificação, a tomada de decisão também não se faz em um vazio teórico, mas toma-se uma decisão em função do objetivo a ser alcançado (LUCKESI, 2005).

A avaliação da aprendizagem não se encerra com a qualificação do estado em que se encontra a aprendizagem dos educandos. Ela coordena a decisão e só se completa com a possibilidade de apontar caminhos mais adequados para uma ação em curso. Hoffmann (2011) esclarece que a avaliação pode ser entendida como uma estratégia de se adquirirem e de se processarem evidências necessárias para melhorar o ensino e a aprendizagem. Nesse sentido, a avaliação promove um diálogo ao indagar, investigar, refletir sobre os percursos, sobre os

processos, sobre os procedimentos na produção de conhecimento, contribuindo para a criação de meios que ajudem a vencer os limites que permeiam esta produção.

Na universidade, espera-se a formação de um indivíduo culto, um profissional competente, capaz de resolver problemas pertinentes a uma ou mais áreas do conhecimento. Avaliar, nesse contexto, não pode se limitar à mecânica do conceito formal e estatístico; não é, simplesmente, atribuir notas obrigatórias à decisão de avanço ou de retenção em determinada disciplina. A avaliação deve ser representada por instrumentos imprescindíveis à compreensão do aprendizado efetivo do aluno.

O ponto crucial é propor medidas para que se possa chegar a um parâmetro quantitativo/numérico, que seja passível de interpretação estatística. Ou seja, a avaliação deve estar comprometida com o processo, com a aprendizagem do aluno e com a qualidade do ensino desenvolvido. Isso quer dizer que a avaliação visa revelar se o objetivo pretendido (aprendizagem significativa do estudante) foi de fato alcançado e se as estratégias propostas e recursos propostos foram apropriados (LEMOS e MOREIRA, 2011).

2.2.1 Tipos de avaliação

A avaliação não deve situar-se somente no final do processo de aprendizagem. O momento no qual é realizada e o objetivo com que foi proposto é o que diferencia um tipo de avaliação de outro. As avaliações distinguem-se mais pelos objetivos do que pelos próprios instrumentos. Diferentes modalidades de avaliação podem contar com o mesmo instrumento. A finalidade da informação determina o modelo de avaliação efetuada.

A avaliação preditiva (avaliação inicial ou avaliação diagnóstica inicial) tem como principal objetivo diagnosticar a situação de cada aluno antes do início do processo de aprendizagem, a fim de adaptá-lo a suas necessidades. Ballester (1999) destaca que a informação obtida com esse tipo de avaliação deve permitir a exploração e o conhecimento para cada um dos alunos:

1. Dos elementos presentes na estrutura cognitiva, pré-requisitos de aprendizagem;
2. Das ideias alternativas e das estratégias espontâneas de atuação;
3. Dos hábitos e atitudes decorrentes da aprendizagem;
4. Das representações das atividades propostas.

A avaliação durante o processo de aprendizagem ou avaliação formativa é uma modalidade de avaliação que acompanha permanentemente o processo de ensino e de aprendizagem, sendo de fundamental importância para a qualidade da aprendizagem. Esse tipo de avaliação tem a função ajustadora do processo de aprendizagem, de modo a possibilitar que os meios de formação atendam às características dos estudantes. Tem, portanto, como objetivo principal detectar os pontos frágeis da aprendizagem, mais do que determinar quais os resultados obtidos com essa aprendizagem (BALLESTER, 1999).

Com relação à cognição, a avaliação formativa busca compreender como se desenvolvem as tarefas propostas aos alunos. A informação procurada se refere às representações mentais do estudante e às estratégias que este utiliza para chegar a determinado resultado. Nesse processo, os erros têm uma importância significativa, pois possibilita diagnosticar quais são as dificuldades que os estudantes encontram na realização de tarefas. Detectando-se isso, podem-se propor mecanismos diferenciados que visem a ajudá-los a superá-las. Os aspectos da aprendizagem nos quais os alunos tenham se saído bem também merecem destaque, uma vez que podem ser entendidos como um reforço a essa aprendizagem (LUCKESI, 2011).

A avaliação formativa foca na regulação das atuações pedagógicas e, portanto, centraliza-se mais nos procedimentos das tarefas do que nos resultados (PERRENOUD, 1999). Em resumo, a avaliação formativa apresenta os seguintes objetivos: a regulação pedagógica, a gestão dos erros e a consolidação dos êxitos.

A avaliação somativa tem como objetivo estabelecer balanços confiáveis dos resultados obtidos ao final de um processo de ensino e aprendizagem. A coleta de informação e de elaboração de instrumentos possibilita medir os conhecimentos a serem avaliados. Tem essencialmente uma função social de assegurar que as características dos estudantes respondam às exigências do sistema. Pode assumir também uma função formativa de saber se os alunos adquiriram os pré-requisitos necessários para aprendizagens posteriores ou os aspectos que deveriam ser modificados em uma futura repetição da mesma sequência de aprendizagem (BALLESTER, 1999).

A avaliação formativa contrasta-se com a avaliação tradicional instalada, chamada de normativa. Mesmo quando esta última é mais discreta, a avaliação formativa não dispensa que os professores concluam notas ou façam considerações sobre o desenvolvimento dos alunos, pois estas são utilizadas para fundamentar as decisões de seleção ou de orientação, revelando o caráter social da avaliação (PERRENOUD, 1999).

Nem todo ato avaliativo envolve os três tipos de avaliação citados. A utilização ou não dos mesmos vai depender do modelo didático adotado. Este, por sua vez, é estruturado pelo contexto histórico em que se está inserido. A análise das avaliações aplicadas, os momentos em que são realizadas e o que é feito com os resultados, deixam, portanto, transparecer o modelo didático adotado pelos professores. Desse modo, o ato de avaliar não deve ser entendido como um processo único de atribuição de notas ou de conceitos, ou seja, meramente classificatório. Sob o ponto de vista diagnóstico, a avaliação leva o professor a pensar sua prática de forma crítica, iniciando mudanças que propiciem a adequação da prática pedagógica aos objetivos esperados com a aprendizagem. Quando classificatória, a avaliação exclui o que é constitutivo da prática: a tomada de decisão quanto à ação (LUCKESI, 2005).

2.2.2 Instrumentos avaliativos

Ao se considerar a aprendizagem como um momento de construção de significados e o ensino como um momento no qual tais significados são compartilhados, a avaliação deve permitir ao professor obter informações referentes ao seu trabalho e às aprendizagens dos alunos. Desse modo, é preciso abandonar o caráter tradicional da avaliação, cuja exclusividade é a quantificação da aprendizagem. Para isso, devem-se abrir caminhos para a utilização de novos instrumentos avaliativos que busquem efetivamente evidências de aprendizagem significativa.

Ao se propor um instrumento avaliativo (prova, mapas conceituais, diagramas V e outros) deve-se buscar dos alunos a externalização dos significados que eles atribuíram aos conhecimentos adquiridos. Para tal, podem-se propor tarefas em que os mesmos venham a utilizar tais conhecimentos numa nova situação utilizando-se de uma linguagem pessoal (LEMOS e MOREIRA, 2011).

Os instrumentos de avaliação, segundo Hoffmann (2011), consistem em toda forma de expressão do aluno que permita ao professor acompanhar o processo de aprendizagem do mesmo, isto é, são as tarefas avaliativas aplicadas pelos professores e que, analisadas, servem como dados de acompanhamento da aprendizagem dos estudantes. Nesse sentido, para que se possa ter uma gama de informações sobre o trabalho docente e de como se deram os percursos de aprendizagem, é relevante fazer uso de um número maior de instrumentos avaliativos (SILVA; HOFFMANN e ESTEBAN, 2010).

Além dos instrumentos avaliativos comumente utilizados pelos professores, tais como provas e testes, Novak e Gowin (1984) sugerem o uso de Mapas conceituais, Vês epistemológicos, questões de Gowin, entrevistas ou a combinações destes. Segundo os autores, tais instrumentos fornecem dados essencialmente qualitativos e permitem revelar as condições atuais e reais dos alunos. Isso durante o levantamento de dados na prática avaliativa e no ato de sua análise, contribuindo para o entendimento das dificuldades de aprendizagem dos alunos.

2.2.2.1 Mapa conceitual

Os mapas conceituais foram desenvolvidos na década de 1970, por Joseph Novak e colaboradores, na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos, com base nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa. Inicialmente, os mapas conceituais foram propostos como um instrumento heurístico utilizado na análise de transcrições de gravações, em áudio, de entrevista clínicas. Posteriormente, foram sendo utilizados como recursos de ensino, de avaliação e de análise do conteúdo curricular (NOVAK, 1998).

Os mapas conceituais são diagramas que representam relações significativas entre conceitos na forma de proposições, geralmente em uma estrutura hierárquica. Esta se justifica pelo fato de que a aprendizagem significativa se processa mais facilmente quando a nova informação ou novos significados conceituais são “ancorados” a outros conceitos, mais gerais e mais inclusivos. Essa forma de organização caracteriza as hierarquias conceituais, nas quais os conceitos mais inclusivos são colocados no topo do mapa e, abaixo destes, são inseridos sucessivamente aqueles menos inclusivos e mais específicos (NOVAK e GOWIN, 1984).

De acordo com a definição de Novak, os mapas conceituais estruturam-se em três elementos fundamentais:

- a) conceitos;
- b) proposição;
- c) palavra de ligação.

Os conceitos consistem na “[...] regularidade percebida em acontecimentos ou objetos, ou registros de acontecimentos ou objetos, designada por um rótulo” (NOVAK, 1998, p. 22). Os rótulos podem ser uma palavra ou sinais como +, - e Δ , isto é, os símbolos que representam os conceitos. Os acontecimentos são tudo aquilo que ocorre ou pode ser

provocado; já os objetos, são tudo aquilo que existe ou pode ser observado. Assim, na definição de Novak, os conceitos são as imagens mentais provocadas pelas palavras ou pelos signos com os quais as regularidades são expressas pelos seres humanos.

Embora os indivíduos utilizem as mesmas palavras para representar determinado conceito e suas imagens mentais compartilhem de certos elementos, haverá a contribuição de componentes pessoais. Desse modo, os conceitos não são exatamente iguais para todos os indivíduos, uma vez que, segundo Novak e Gowin (1984) os significados são de natureza idiossincrática, pois resultam da forma como cada um capta o significado de um termo e das experiências dos indivíduos. Peña, et al. (2005) exemplificam isso a partir do conceito de carro. Este não terá o mesmo significado para um piloto de Fórmula 1 e para um ecologista, já que ambos possuem experiências distintas envolvendo o conceito carro.

As proposições constituem-se de dois ou mais termos conceituais (conceitos), conectados por palavras (palavras de ligação), formando uma unidade semântica que tem o valor de verdade. Desse modo, pode-se afirmar ou negar algo sobre o conceito, indo além de sua simples denominação. Nas proposições, os conceitos são unidos por palavras de ligação, que se diferenciam dos primeiros por não provocarem a formação de imagens mentais (NOVAK e GOWIN, 1984). Tomando-se como exemplo a seguinte proposição: “pássaro é ave”; as palavras “pássaro” e “ave” provocam imagens mentais. Já a palavra “é” não provoca uma imagem mental. Portanto, “pássaro” e “ave” são conceitos e “é” é palavra de ligação.

Esquemáticamente, os mapas conceituais são representações nas quais, muitas vezes, utilizam-se figuras geométricas (elipses, retângulos ou círculos) para envolver os conceitos. Em princípio, essas figuras nada significam em um mapa conceitual. O mesmo pode ser dito para o tamanho e a forma das linhas que conectam os conceitos, a menos que estejam acopladas a certas regras (NOVAK e GOWIN, 1984). Alguns princípios metodológicos devem, porém, ser considerados na elaboração de mapas conceituais, tais como:

- a) os conceitos devem ser relacionados de maneira coerente, acompanhando um ordenamento lógico;
- b) as palavras de ligação, juntamente com os conceitos, devem formar frases com significado lógico e proposicional.

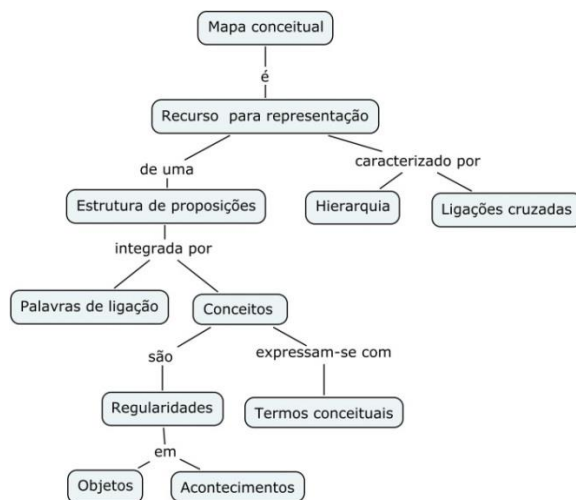
Na Figura 6, tem-se um exemplo da estrutura de um mapa conceitual referente às principais ideias e princípios chave relacionado à estrutura do mapa, tais como seus elementos e características.

A partir da Figura 6 identifica-se que os mapas conceituais apresentam duas características relacionadas à sua representação, a hierarquia e as ligações cruzadas. A

organização hierárquica revela que os conceitos são organizados segundo uma ordem de importância ou de inclusão, sendo que, na base do mapa, podem-se acrescentar exemplos, isto é, objetos e acontecimentos concretos que sejam exemplos válidos do que designam os temas conceituais. Os exemplos ilustram as origens do significado do conceito (a regularidade que se representa), mas não são conceitos, por isso não devem ser representados dentro de figuras geométricas.

Devido à natureza hierárquica, é comum em alguns casos incluir setas para ligar os conceitos. Tais diagramas não devem, no entanto, ser confundidos com organogramas ou com diagramas de fluxo, uma vez que não sugerem sequência, temporalidade, direcionalidade, ou hierarquias organizacionais ou de poder. A organização hierárquica dos mapas tem por objetivo diferenciar conceitos primários, mais hierárquicos e inclusivos, de conceitos secundários, de menor ordem, os quais podem estar representados por exemplos específicos. Um número variável de níveis intermediários de hierarquia pode ser encontrado entre os conceitos gerais e os específicos (MOREIRA, 2010).

Figura 6- Mapa conceitual sobre os elementos e características dos mapas conceituais.



Fonte: do autor

Além das relações horizontais de natureza inclusiva, podem-se observar nos mapas conceituais conexões entre conceitos que se encontram em segmentos diferentes do mapa. Esses tipos de relações são denominados por Novak e Gowin (1984) ligações cruzadas. Segundo os autores, um mapa hierárquico revela as relações de subordinação que existem entre os conceitos dos níveis mais altos e aqueles subordinados e, desse modo, o grau de diferenciação progressiva. Já as ligações cruzadas, podem ser indicativas de integrações conceituais novas, revelando a ocorrência de uma aprendizagem superordenada. Nesse caso, o aluno percebe que existem relações “horizontais” entre os conceitos a serem relacionados,

podendo construir um novo conceito ou atribuir uma posição hierárquica àqueles já presentes na estrutura cognitiva. Assim, tais conceitos passam a subordinar outros que já se encontram estabelecidos (MOREIRA, 2010).

Vale ressaltar que as relações subordinadas-superordenadas de conceitos em um mapa conceitual podem ser variáveis e dependem do momento de aprendizagem e do contexto no qual foi proposta a elaboração dos mapas. Nesse sentido, um conceito mais específico pode “ser elevado” para uma posição superior sem que deixe de manter uma relação proposicional significativa, com outros conceitos no mapa. Assim, um mesmo conjunto de conceitos pode ser representado em duas ou mais hierarquias válidas (NOVAK e GOWIN, 1984).

Por evidenciarem uma organização hierárquica, os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora, os mapas conceituais são ferramentas simples para avaliar em que ponto se encontra a aprendizagem dos estudantes. Para elaborar um mapa hierárquico, os alunos precisam refletir sobre os conceitos mais inclusivos e menos gerais de um dado corpo de conhecimento, o que requer por parte dos mesmos uma atividade cognitiva, uma vez que é necessária uma integração ativa de conceitos. Além do mais, os mapas podem demonstrar as mudanças na compreensão conceitual dos alunos, uma vez que fornecem uma visualização da organização conceitual que o aprendiz possui para um dado conhecimento (NOVAK e GOWIN, 1984).

Moreira (2010) afirma que os mapas conceituais consistem em uma técnica não tradicional de avaliação, em que o objetivo principal é obter informações sobre os significados e sobre as relações significativas entre os conceitos-chave da matéria de ensino segundo o ponto de vista dos estudantes. Desse modo, são bons instrumentos para observar a ocorrência de alteração de significados que um aluno atribui aos conceitos que foram mapeados. Isso é possível devido ao fato de que os mapas exteriorizam o conhecimento dos alunos, tornando-o públicos a si mesmos e ao professor. Vale pontuar, entretanto, que tais instrumentos não são uma representação completa dos conceitos e das proposições relevantes que os alunos possuem, mas consistem em uma aproximação considerável da estrutura cognitiva que fornece ao professor informações de como a aprendizagem conceitual do aluno está se desenvolvendo.

Neste sentido, a identificação de Estruturas Hierárquicas Inapropriadas (LIPs), nos mapas conceituais pode fornecer informações importantes sobre a aprendizagem dos alunos. As LIPs consistem em proposições com falta de clareza semântica ou erros conceituais e sua ocorrência está atrelada a dois fatores: a incompreensão limitada ou incoerente sobre o tema mapeado e a compreensão limitada sobre como preparar bons mapas conceituais (NOVAK,

2002). Assim pode-se dizer que o sucesso da técnica como recurso par revelar os significados que os alunos atribuem aos conceitos, também é dependente do entendimento que esses possuem sobre a elaboração da ferramenta.

2.2.2.2 Diagrama V

O Diagrama V consiste em um instrumento constituído por doze elementos, sendo que seis deles estruturam o lado esquerdo, isto é, o lado teórico-conceitual e quatro constituem o lado direito, isto é, o lado metodológico. No centro e na base do Vê, encontra-se um elemento, as questões-foco e os objetos/acontecimentos, respectivamente. A figura 7 representa a estrutura do “Vê” e seus elementos.

O lado esquerdo do Vê corresponde ao “pensar” e o direito, ao “fazer”. No lado esquerdo, os conceitos geram os princípios e as leis e, estes são organizados em teorias que, por sua vez, têm sistemas de crenças ou filosofias subjacentes. Já no lado direito, por meio dos registros dos eventos, obtêm-se dados, por meio de transformações como atribuição de parâmetros, de índices, de coeficientes. Os dados passam por novas transformações metodológicas, como gráficos, correlações, categorizações, que servem de base para a formulação de asserções de conhecimento, ou seja, o conhecimento produzido em resposta às questões-foco (MOREIRA, 1990).

Na base do “Vê”, estão os objetos a serem estudados, eventos que acontecem naturalmente ou que se fazem acontecer a fim de fazer registros, por meio dos quais os fenômenos de interesse possam ser estudados. Isso permite ligar a nossa experiência a qualquer parte do universo, uma vez que tudo o que há no universo trata-se de um acontecimento, ou de um objeto (NOVAK, 1998).

Figura 7- Representação do V heurístico de Gowin.



Fonte: do autor

As questões-foco (questões básicas ou questões-chave) situam-se no centro do “Vê”, pois pertencem ao domínio teórico-conceitual e ao metodológico. A questão-foco de um estudo identifica o fenômeno de interesse de maneira que é provável que algo seja construído, medido ou determinado ao respondê-la. É a pergunta que informa sobre o ponto central de um estudo, de uma pesquisa; ela diz o que, em essência, foi estudado e pesquisado (MOREIRA e VEIT, 2010).

Todos os elementos do “Vê” contribuem para a construção dos significados, já que cada um deles atua em determinada experiência de aprendizagem. Os conceitos, por exemplo, contribuem para a seleção dos acontecimentos/objetos a serem observados e dos registros a serem feitos. Caso os conceitos utilizados estejam inadequados ou incompletos, a investigação ocorrerá com dificuldades. Se os registros forem insuficientes, não haverá fatos que possam ser transformados para produzir afirmações válidas. Assim, embora o significado do conhecimento tenha sua fonte nos objetos e nos acontecimentos, não há nada nos registros que forneça o significado. Este é construído pelos indivíduos à medida que buscam integrar todos os elementos do “Vê” (NOVAK e GOWIN, 1984).

Ainda que o diagrama V possa ser estudado em parte, é importante perceber que há uma permanente interação entre cada um dos seus elementos, isto é, tudo o que é feito do lado metodológico é guiado por conceitos, por princípios e por filosofias do lado teórico-conceitual. Da mesma forma, novas asserções de conhecimento podem levar a novos conceitos, à reformulação de conceitos já existentes ou, ocasionalmente, a novas teorias e filosofias (NOVAK, 1998).

Durante a construção do “Vê”, os alunos são colocados em uma atividade contínua de pensar, de organizar as ideias e as informações disponíveis. Isso ocorre de acordo com a estrutura cognitiva de cada um dos estudantes e, portanto, é uma construção única, própria de cada um deles. Nesse sentido, o “Vê” permite que professores e alunos aprofundem na estrutura e no significado do conhecimento que estão buscando compreender (metaconhecimento). Além disso, possibilita a incorporação de novos conhecimentos à estrutura teórico/conceitual que o aluno possui, contribuindo para a ocorrência de uma aprendizagem significativa, pois o estudante reconhece que há uma relação entre aquilo que ele já sabe e o conhecimento que está sendo produzido (GONZÁLES GARCÍA, 2008).

O uso do diagrama V dá condições ao aluno de identificar quais são os conceitos, as teorias, os registros e as metodologias utilizadas na produção de um determinado conhecimento, reconhecendo o mesmo como produzido em resposta a uma determinada pergunta. Desse modo, os estudantes compreendem que o conhecimento se origina de uma

investigação. Esta última é resultante da interação entre a estrutura conceitual e a metodologia escolhida para a solução da tarefa proposta (NOVAK, 1998).

González García (2008) assinala que o “Vê” auxilia na identificação dos principais conceitos e princípios envolvidos na construção de determinado conhecimento. Desse modo, contribui para definir quais os conceitos conhecidos pelos alunos, quais as possíveis relações entre os mesmos e, de que forma tais relações podem levar à produção de um novo conhecimento. Além da aprendizagem significativa de conceitos, o diagrama V favorece a ocorrência da aprendizagem significativa de como o conhecimento é construído.

Outra vantagem do uso do “Vê” é destacada por Novak e Gowin (1984). Segundo estes autores, a elaboração dessa ferramenta leva os alunos a perceberem que existe uma relação entre o conhecimento disciplinar que vai sendo construído (modificado) ao longo do tempo e, o conhecimento oriundo de uma dada investigação que se processa, isto é, reconhece-se que os elementos conceituais (lado esquerdo) orientam as indagações, entretanto, resultam de construções oriundas de outras investigações, que se desenvolveram ao longo do tempo. Já os elementos do lado direito, são construções produzidas no momento da investigação.

3 PERCURSO METODOLÓGICO

Esta investigação desenvolveu-se a partir de uma abordagem qualitativa. Segundo André (2008), este tipo de abordagem é originário do final do século XIX. Nessa época, os pesquisadores das ciências sociais indagavam sobre as contribuições dos métodos de investigação positivista para o estudo de fenômenos humanos e sociais. Isso resultou na busca por metodologias mais adequadas ao contexto de pesquisa, culminando no que hoje é conhecido como pesquisa qualitativa.

Na pesquisa qualitativa, o foco de investigação centraliza-se na compreensão dos significados atribuídos pelos sujeitos às suas ações. Desse modo, pode-se dizer que essa metodologia é oposta à visão empirista da ciência, pois visa à interpretação em vez de à mensuração, à descoberta em detrimento da constatação, prioriza a indução e compreende os fatos e valores de forma relacionada (ANDRÉ, 2008).

Moreira (1990) e André (2008) destacam que, embora a pesquisa qualitativa tenha raízes recentes, originou-se de métodos antropológicos desenvolvidos no início do século passado, tendo sua raiz teórica decorrente da fenomenologia. Segundo os fenomenólogos, para se compreender como os indivíduos atribuem sentido aos acontecimentos e às interações sociais de seu cotidiano, é preciso penetrar no universo conceitual destes sujeitos.

O termo qualitativo é comumente empregado para se referir a diferentes tipos de pesquisa em ensino, dentre as quais, se podem citar a pesquisa etnográfica, a participativa observacional, o estudo de caso, a pesquisa fenomenológica, a construtivista, a interpretativa e a antropológica cognitiva. Por compartilharem muitas semelhanças, são chamadas de pesquisas qualitativas, principalmente no que diz respeito ao interesse nos significados (MOREIRA, 1990).

Erickson (1986, apud MOREIRA, 1990) atribui às pesquisas qualitativas o termo *interpretativo*, por considerá-lo mais geral e por apresentar as características básicas de todas as abordagens citadas no parágrafo anterior. Nesse sentido, pode-se conferir como interesse da pesquisa interpretativa (qualitativa) a investigação dos significados atribuídos pelas pessoas aos eventos e objetos estudados. Além do mais, foca as ações e interações destas, dentro de um contexto social, de modo a ser possível a elucidação dos significados pelo pesquisador. Assim, adotou-se neste estudo a abordagem da pesquisa qualitativa, do tipo interpretativa, que:

[...] procura analisar criticamente cada significado em cada contexto. O pesquisador, nessa perspectiva, pergunta-se continuamente que significados têm as ações e os eventos de ensino, aprendizagem, avaliação, currículo, para os indivíduos que deles participam. Indaga permanentemente sobre o que está acontecendo e como isso se comporta com o que está acontecendo em outros contextos (MOREIRA, 1990, p. 34).

Utilizando-se dessa abordagem de pesquisa, buscou-se com este estudo compreender os significados dos instrumentos avaliativos propostos (mapas conceituais e diagrama V), para a avaliação da aprendizagem dos alunos, dentro de um determinado contexto de ensino e de aprendizagem. Com relação às técnicas de coleta de dados, foi utilizada a observação participante. Flick (1999, apud VIANA, 2007), revela que a observação participante é frequentemente utilizada em pesquisas do tipo qualitativa.

De acordo com André (2008), a observação é denominada de participante porque permite ao pesquisador interagir com a situação estudada, afetando-a e sendo afetado por ela. Desse modo, o pesquisador contribui para que a situação ocorra, renegando o naturalismo, já que neste caso não se seria possível alterar, manipular ou limitar o meio, ou os participantes. A observação participante possibilita a testagem de hipóteses pelo pesquisador, por meio da criação de situações que possivelmente não ocorreriam, se ele não fizesse parte dos eventos que estão sendo pesquisados (VIANA, 2007).

A participação do pesquisador torna-se cada vez maior, à medida que ele vai tendo acesso ao campo de atuação e às pessoas. A observação vai ficando mais concreta e focada nos elementos que são fundamentais para responder às questões de pesquisa. Desse modo, pode-se dizer que a observação participante consiste em um processo, no qual algumas etapas são relevantes, como aquelas descritas por Spradley (1980, apud VIANA, 2007, p. 52):

Observação descritiva- o observado adapta-se ao campo de estudo e faz descrições não-específicas, que se destinam a dar uma ideia geral da complexidade do campo de estudo e a desenvolver, simultaneamente, perguntas concretas para a pesquisa, abrindo novas perspectivas para o trabalho; Observação centrada- a perspectiva se estreita em relação ao processo e aos problemas mais essenciais para as questões da pesquisa; e Observação seletiva- ao se aproximar ao fim da pesquisa, a coleta de dados centra-se em novas questões exemplos para os tipos de práticas e processos encontrados na segunda fase da investigação.

Nesta pesquisa, a observação participante ocorreu segundo as etapas descritas anteriormente, distribuídas ao longo de dois semestres, envolvendo as disciplinas de Química Geral e Química Inorgânica I. No primeiro semestre, a observação caracterizou-se mais como descritiva. No segundo, a observação foi centrada e seletiva. Pode-se, assim, dizer que o

estudo foi intenso e prolongado. Foram necessárias muitas horas no campo, o que contribuiu para intensificar a relação entre o observador e os sujeitos de pesquisa.

Estabelecendo um paralelo entre as etapas da observação participante e os relatos do diário de campo, pode-se dizer que os primeiros registros são de natureza simplificada e pouco diferenciada da realidade. Nessa fase, as descrições centram-se na dinâmica da aula por meio de um relato sistemático e pormenorizado dos acontecimentos e das situações cotidianas. Posteriormente, buscam-se narrar as tarefas de ensino e os momentos de aprendizagem dos alunos. O objetivo principal dessa fase é apresentar um panorama geral e significativo do que ocorre na classe, descrevendo as atividades, relatando os processos e categorizando, na medida do possível, as observações obtidas (PORLÁN R., 1997).

A análise das observações orienta-se a:

- a) identificar e analisar os diferentes elementos que às configuram;
- b) estabelecer relações entre os elementos da análise;
- c) fazer perguntas problematizadoras.

Dentre as questões problematizadoras Porlán R. (1997) destaca as seguintes: Que comportamento os alunos apresentam quando são propostas determinadas atividades?; Quando o professor apresenta um determinado comportamento, qual é a reação dos alunos? E outras. Segundo o autor, tais questões permitem focar progressivamente as observações, partindo-se do geral ao concreto, sem se desviar das referências do contexto.

Vale ressaltar que a observação participante, empregada neste estudo, foi a do tipo aberta, isto é, o pesquisador foi identificado e os sujeitos tinham ciência de que estavam sendo observados. As observações foram registradas em diário de campo e ocorreram no momento em que as ações foram desenvolvidas. Selltiz, et al. (1967, apud PORLÁN R., 1997) relatam que tal procedimento evita vieses seletivos e deformações decorrentes de lapsos de memória.

3.1 QUESTÃO DE PESQUISA E OBJETIVOS

Este estudo teve como eixo norteador a seguinte questão de pesquisa: “Em que medida a sequência de diagramas V modificados evidencia o processo de construção da aprendizagem sobre o conteúdo de ligações químicas?”. Nesse sentido, propôs-se como objetivo geral acompanhar o processo de construção do conhecimento sobre o referido conteúdo da área da ciência Química, a partir da construção de uma sequência de “Vês”.

Para a concretização do objetivo geral, estabeleceram-se neste estudo os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os subsunçores dos alunos, necessários à aprendizagem de ligações químicas, a partir de questões avaliativas propostas em provas da disciplina de Química Geral, sendo estes subsunçores:

- a) Estrutura da matéria;
- b) Propriedades periódicas.

- Propor modificações ao diagrama V e avaliá-las segundo as interações que podem ser estabelecidas entre os conhecimentos prévios e a nova informação, expressa pelas relações entre os elementos do “Vê”. Desse modo, pretendeu-se identificar a potencialidade do instrumento para a avaliação de conteúdos da área da ciência química, com base nos pressupostos da TAS.

- Apresentar aos alunos mapas conceituais e diagramas V e instruí-los na elaboração destes, a fim de familiarizá-los com as metodologias de construção dos referidos instrumentos. Para isso foi elaborado um mapa conceitual e um “Vê” de testes na disciplina de Química Geral.

- Definir uma metodologia de análise para a correção dos diagramas V que forneça valores numéricos e informações qualitativas e que estejam de acordo com os pressupostos da TAS.

- Elaborar as questões-foco e os textos-base dos diagramas V a serem construídos pelos alunos.

- Levar os alunos a construírem uma sequência de “Vês”, relativa às etapas do processo de construção do conhecimento referente à ligação química, considerando os princípios da diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

- Avaliar o processo de construção do conhecimento elaborado pelos alunos, conforme a TAS.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS DE PESQUISA

Os participantes desta pesquisa foram:

- a) alunos ingressantes no ano de 2012, no curso de Licenciatura em Química;

b) alunos que cursaram as disciplinas de Química Geral ou Química Inorgânica I, como dependentes, dos cursos de Licenciatura ou Bacharelado em Química e Biotecnologia.

O quadro de sujeitos deste estudo apresentou-se bastante heterogêneo, composto por alunos em diferentes momentos de aprendizagem de conhecimentos químicos. A população consistiu de 40 alunos regulares e 19 alunos dependentes, sendo que, dos 40 alunos regulares, 21 mudaram de curso e/ou abandonaram os estudos. Dos alunos dependentes, 2 frequentaram a disciplina de Química Geral e 17, a disciplina de Química Inorgânica I. Da totalidade (59), 19 alunos frequentaram ambas as disciplinas e, portanto, compuseram a amostra deste estudo. Entretanto, a amostra variou durante a coleta de dados, devido à desistência de alguns pela disciplina de Química Inorgânica I.

A exclusão dos demais participantes esteve pautada no referencial teórico e nos objetivos que fundamentaram a pesquisa. De acordo com a TAS, a aprendizagem é processual e, à medida que o indivíduo adquire um novo conhecimento, sua estrutura cognitiva é reorganizada e novas relações vão sendo estabelecidas. Para se avaliar, portanto, a aprendizagem dos alunos sobre ligações interatômicas, fez-se necessário acompanhar o processo pelo qual os alunos constroem o conhecimento. Esse processo teve início na disciplina de Química Geral e estendeu-se até a disciplina de Química Inorgânica I. Optou-se, pois, pelos alunos que cursaram ambas as disciplinas.

A caracterização dos sujeitos de pesquisa realizou-se a partir de um questionário (APÊNDICE A) contendo questões de múltipla escolha e discursiva. As questões de múltipla escolha foram extraídas do questionário socioeconômico do ENEM. Já as questões discursivas, foram elaboradas pelo pesquisador, com o intuito de obter informações sobre a avaliação dos alunos quanto à aprendizagem de conteúdo da área da ciência Química, abordados no Ensino Médio.

A partir do questionário de caracterização, verificou-se que os sujeitos apresentavam idade entre 19 e 25 anos, sendo 11 do sexo feminino e 8 do sexo masculino. Da totalidade, 3 não trabalhavam e/ou não recebiam qualquer tipo de bolsa; 11 recebiam bolsa de programas da universidade, como PIBID (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência) ou PROFOQUI (Programa de Formação Continuada de Professores de Química) e 5 trabalhavam em outras atividades, diferentes daquelas para a qual estavam se preparando. Estes últimos relataram que, embora o trabalho prejudicasse os estudos, lhes garantia crescimento profissional e independência financeira.

Todos os sujeitos concluíram o Ensino Fundamental em oito anos, sendo que 15 deles estudaram em escola pública; 2, em escola particular e 2, parte em escola pública e parte em

escola particular. Os sujeitos frequentaram o Ensino Médio regular concluindo-o em um prazo de três anos, sendo que 11 estudaram em escola pública; 3, em escola particular e 4, na maior parte em escola particular.

Na Tabela 1, encontra-se a avaliação realizada pelos sujeitos, referente à aprendizagem dos conhecimentos químicos, adquirida no Ensino Médio.

Tabela 1- Avaliação dos sujeitos de pesquisa referente aos conteúdos da área da ciência Química ensinados no Ensino Médio

Critérios de avaliação	Número de alunos	
	Sim	Não
Foram adequados ao que o mercado de trabalho solicita.	10	9
Tiveram relação com a profissão que escolheu/que você exerce.	14	5
Foram bem desenvolvidos, com atividades práticas, laboratórios etc.	5	14
Proporcionaram cultura e conhecimento.	13	6

Fonte: do autor

Os sujeitos classificaram como a melhor aula de Química, aquela na qual foram abordados os seguintes conteúdos:

- a) química orgânica;
- b) pH e pOH;
- c) soluções eletrolíticas;
- d) estequiometria;
- e) ligações químicas;
- f) físico-química.

Em contrapartida, a pior aula caracterizou-se pelos seguintes conteúdos:

- a) interações intermoleculares;
- b) eletroquímica;
- c) modelos atômicos;
- d) reações químicas;
- e) química inorgânica;
- f) misturas;
- g) reatividade;
- h) química orgânica.

Com relação à aprendizagem dos conteúdos da área da ciência Química, os sujeitos revelaram que:

- a) aprendeu na maior parte por dedicação e interesse próprio;
- b) aprendeu devido ao ensino do professor;
- c) não aprendeu o suficiente;
- d) não foi uma aprendizagem produtiva por não apresentar aplicações no cotidiano;
- e) o pré-vestibular contribui muito para a aprendizagem;
- f) a aprendizagem poderia ter sido melhor se houvesse atividades práticas;
- g) a aprendizagem não foi efetiva porque o professor não dava aulas.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONTEXTO DE PESQUISA

O estudo envolveu aulas teóricas e teórico-práticas, sendo que ambas foram ministradas pelo mesmo professor. Nas aulas teórico-práticas, os alunos realizavam a atividade experimental de acordo com os procedimentos propostos no roteiro. Antes, durante ou após as aulas, não eram realizadas discussões de cunho teórico ou metodológico, entre o professor e os alunos.

Os instrumentos utilizados para avaliar a aprendizagem dos alunos eram:

- a) os pré-relatórios, que consistiam em “cópias” dos procedimentos experimentais, no caderno de laboratório;
- b) uma prova escrita, envolvendo todas as atividades práticas;
- c) relatórios, elaborados em grupo e organizados em introdução, objetivos, dados coletados, análise dos dados, conclusão e as respostas às questões solicitadas no final do roteiro. Em duas situações, uma envolvendo a disciplina de Química Geral e a outra, de Química Inorgânica I, os relatórios foram elaborados na forma de diagrama V.

A natureza da avaliação desenvolvida nas aulas teórico-práticas foi a somativa, pois o objetivo pretendido com o uso dos instrumentos avaliativos foi atribuir um valor a aprendizagem dos alunos, no final do processo de ensino. Segundo Moreia e Veit (2010), o principal papel que a avaliação somativa desempenha é o de avaliar o que o aluno aprendeu no final da etapa de ensino. Nesse tipo de avaliação, prioriza-se o produto e não o processo de aprendizagem. Assim, resultou apenas na aprovação ou na reprovação dos estudantes.

Muitos dos conceitos envolvidos na realização das atividades práticas não eram de conhecimento dos alunos, tratando-se de conceitos novos. Além do mais, não foram estabelecidas relações entre estes e os seus subsunçores, ou se buscou fazer um levantamento destes, antes da realização do experimento. A introdução apresentada nos roteiros experimentais não contribuiu para uma aprendizagem significativa, pois, na maioria das vezes, consistiam em textos informativos.

Na disciplina de Química Inorgânica I, os roteiros experimentais foram modificados e passaram a apresentar apenas os procedimentos e algumas questões a serem respondidas. Na Figura 8, tem-se um exemplo do roteiro proposto, entretanto, não houve modificação na realização das atividades práticas.

Figura 8- Roteiro da atividade experimental intitulada “Os elementos fósforo, Arsênio e Antimônio e seus compostos” proposto na disciplina de Química Inorgânica I.

Prática 5
Os Elementos Fósforo, Arsênio e Antimônio e seus Compostos

A) Fósforo

Demonstração (Opcional) (Realizar na Capela)

Dissolver um pedaço (tamanho de uma ervilha) de fósforo branco em poucos ml de dissulfeto de carbono. Molhar um papel de filtro com a solução e deixar secá-lo sobre uma tela metálica. Após estar exposto alguns minutos ao ar o papel com o fósforo se inflama.

NOTA: Não tocar o fósforo branco ou a solução com os dedos. **Além de ser inflamável, o fósforo branco é sumamente tóxico.**

1) Solubilidade e Reatividade do Fósforo Vermelho

Tratar de dissolver alguns miligramas de fósforo vermelho em vários ácidos e bases (solução de ácido clorídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, hidróxido de sódio, etc.), e em solventes orgânicos (álcool, tetracloro de carbono, acetona, etc.). Observações.

2) Combustão do Fósforo Vermelho

Acender um pouco (aprox. 50 mg) de fósforo vermelho colocado sobre uma superfície de metal ou cerâmica. Colocar um funil invertido acima do fósforo ardente, de maneira que o produto da combustão se condense nas paredes interiores do funil. Estudar as propriedades dos produtos depositados no funil. Inverter e lavá-lo com alguns ml de água destilada, juntando a solução resultante em um tubo de ensaio. Dividir a solução em duas partes. Numa parte comprovar o pH com um indicador adequado. Reservar a outra parte para prova posterior na experiência 4.

Descrever observações e estabelecer equações químicas. Pode propor outros métodos para obter pentóxido de difósforo (ou P_2O_5) ?

3) Ortofosfatos – Os Ácidos Fosfóricos e os Fosfatos – Reações de Condensação

Dissolver separadamente pequenas quantidades de um fosfato tribásico, um fosfato dibásico e fosfato monobásico (de sódio ou de potássio) em água destilada (tubos de ensaio) e comprovar com indicadores adequados de pH das soluções. Reservar um pouco de cada solução para o próximo experimento. Explicar as observações estabelecendo

B) Arsênio, Antimônio e Bismuto

4) Propriedades do Óxido de Arsênio

a) Aquecer um pouco de sesquióxido de arsênio num tubo de ensaio seco. Interpretar o resultado em relação à estrutura do sesquióxido de arsênio.

b) Tentar dissolver pequenas quantidades de sesquióxido de arsênio em água destilada, ácidos e bases diluídos (aquecer se nada observar) e ácido nítrico concentrado. Discutir o resultado e estabelecer equação.

5) Redução de Arsênio, Antimônio e Bismuto

a) Dissolver um composto de arsênio, de antimônio e bismuto separadamente em ácido clorídrico concentrado.

Adicionar às soluções algumas gotas de solução de cloreto de estanho (II). Aquecer se for necessário. Observações ?

b) Dissolver um composto de arsênio, de antimônio e de bismuto separadamente em ácido clorídrico 0,2 M. Separar cada solução em duas partes.

Colocar em uma parte um prego de ferro, na outra parte um pedaço de estanho. Interpretar os fenômenos.

C) Sais de Amônio

6) Volaticidade de sais de Amônio

Observar o comportamento de cloreto de amônio, aquecendo uma pequena quantidade num tubo de ensaio seco.

Pergunta : A volaticidade do cloreto de amônio é contraditória ao seu caráter salino ?

Fonte: dos sujeitos de pesquisa

Ao todo, foram realizadas na disciplina de Química Geral 11 atividades práticas, e na Química Inorgânica I, realizaram-se 8. O tema abordado em cada uma das aulas está descrito na Tabela 2.

As aulas teóricas apresentaram característica expositiva, havendo alternância entre o uso de data show e do quadro de giz. Moreira e Veit (2010) relatam que a aula expositiva pode gerar aprendizagem significativa, mas, para isso, devem-se considerar algumas etapas. Estas, segundo os autores seriam:

- a) identificar a estrutura conceitual e proposicional do que será ensinado;
- b) identificar quais os subsunçores (conceitos, proposições, ideias claras, estáveis), relevantes à aprendizagem do conteúdo que será ensinado, ou seja, o conhecimento que o aluno deve possuir em sua estrutura cognitiva que permita uma aprendizagem significativa;
- c) diagnosticar o que os alunos sabem e identificar quais os subsunçores que estão disponíveis na estrutura cognitiva dos mesmos;
- d) ensinar, levando em consideração o que os alunos já sabem. Quando necessário, utilizar-se de organizadores prévios, contemplar os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora, e trabalhar os conteúdos de forma sequencial.

Tabela 2- Atividades experimentais realizadas nas disciplinas de Química Geral e Química Inorgânica I

Química Geral	Química Inorgânica I
1) Estudos de medidas e erros	1) Reatividade dos metais alcalinos e alcalinos terrosos
2) Construção e calibração de um densímetro	2) Os elementos boro e alumínio e seus compostos
3) Reações químicas e análise qualitativa por via úmida	3) Os elementos carbono e silício e seus compostos
4) Determinação da massa molar do magnésio	4) Os elementos fósforo, arsênio e antimônio e seus compostos
5) Construção da curva de solubilidade do nitrato de potássio	5) Preparação da amônia
6) Preparo de soluções	6) O elemento enxofre e seus compostos
7) Padronização de soluções	7) Oxigênio e combustão
8) Forças intermoleculares (gasolina)	8) Propriedades dos halogênios
9) Síntese da aspirina	
10) Determinação do ponto de fusão da aspirina	
11) Determinação de CaO_3 em mármore	

Fonte: do autor

A sequência dos conteúdos da área da ciência Química foi definida com base naquela proposta pelos livros didáticos e ocorreu da seguinte forma: estrutura da matéria, ligações

químicas e propriedades químicas e físicas dos elementos dos grupos da tabela periódica. No entanto, o levantamento dos subsunçores necessários à aprendizagem dos conteúdos subsequentes não foi realizado antes da instrução.

Em alguns momentos da disciplina de Química Inorgânica I, foi realizado o levantamento de concepções dos alunos, antes de serem trabalhados os conteúdos químicos. O levantamento ocorreu mediante a elaboração de resenhas, de apresentações de trabalhos orais e escritos. No entanto, isso ocorreu apenas no início da disciplina e não foi significativo para levantar os subsunçores necessários à aprendizagem da nova informação durante toda a disciplina. Esse diagnóstico tem um papel muito importante no planejamento do ensino, pois é partir dele que o professor irá tomar decisões sobre o que os estudantes deverão aprender, qual a melhor estratégia a ser utilizada, e além do mais auxiliará no preparo e seleção dos recursos instrucionais necessários.

Durante as aulas, o professor buscou relacionar os conceitos novos, com aqueles que já haviam sido ensinados. Foram propostas também algumas questões orais, a fim de levar os alunos a exporem os significados que estavam atribuindo ao material ensinado, contudo, poucos estudantes participavam das discussões e, na maioria dos casos, a interação ocorria com os mesmos alunos, exceto quando o professor solicitava a participação dos outros.

Os diálogos estabelecidos entre o professor e os alunos consistiam em perguntas e respostas. Caso a resposta estivesse certa, havia uma confirmação e, se necessário, acrescentava-se mais alguma informação. Caso a resposta estivesse incorreta, o professor apresentava a correta, sem que houvesse a negociação de significados. A discussão a seguir, realizada em uma aula introdutória sobre ligações químicas, exemplifica como ocorriam as interações entre o professor e os alunos.

Professor: *Para quebrar uma ligação há gasto ou ganho de energia?*

Aluno B: *Gasta.*

Aluno N: *Recebe.*

Professor: *Deve-se fornecer energia para quebrar uma ligação química.*

A partir dessa discussão, em que o professor propõe uma questão para os alunos, pode-se observar que não houve a negociação de significados, pois o professor apenas apresentou a resposta correta, sem dar a devida atenção àquela considerada errada. Desse modo, não se pode dizer que as discussões propostas propiciaram a negociação de significados dos conceitos e proposições ensinadas, induzindo, assim, uma aprendizagem memorística.

A aprendizagem conforme relatado por Ausubel; Novak e Hanesian (1980) é uma ação pessoal, de modo que está além da vontade ou ação exclusiva do professor. Isto é, a

aprendizagem é uma decisão dos estudantes e, objetivo do ensino só será alcançado quando os significados captados pelos alunos e aqueles apresentados pelo professor e pelo material instrucional forem compartilhados. Contudo, o professor deve fornecer condições aos alunos para pensar sobre e com o conhecimento e, ainda, avaliarem se os significados apreendidos são correspondentes aos ensinados (LEMOS e MOREIRA, 2011).

As características apresentadas no processo de ensino do professor tais como a falta de atividades para fazer levantamento de concepções prévias, e a ausência da negociação de significados, podem comprometer os objetivos pretendidos com o ensino. Os efeitos disso poderão ser identificados no processo avaliativo, e conseqüentemente influenciará nos resultados a serem obtidos com a utilização do diagrama V modificado, uma vez que no processo de ensino os estudantes não receberam os estímulos necessários para a construção do conhecimento.

Nas aulas teóricas, a avaliação dos alunos ocorreu principalmente por meio do uso do instrumento prova, entretanto, na disciplina de Química Inorgânica I, os mapas conceituais e os diagramas V elaborados pelos alunos, foram considerados. Geralmente, as provas eram compostas por quatro ou cinco questões abertas, de natureza discursiva, constando de problemas numéricos e/ou de representações químicas. Ainda que algumas das questões avaliativas se propusessem a avaliar a uma aprendizagem significativa, a maioria delas visava uma aprendizagem memorística. O exemplo a seguir ilustra uma questão avaliativa com tal característica, proposta em uma prova da disciplina de Química Geral: “Dê a configuração eletrônica de cada um dos átomos formadores, e desenhe a estrutura de Lewis **completa**, de cada uma das seguintes substâncias: SF₄; PCl₅; BeCl₂; SiCl₄ e O₃. (Dados: Be (Z=4); O (Z=8); F (Z=9); Si (z=14); P (Z=15); S (Z=16) E Cl (Z=17).”.

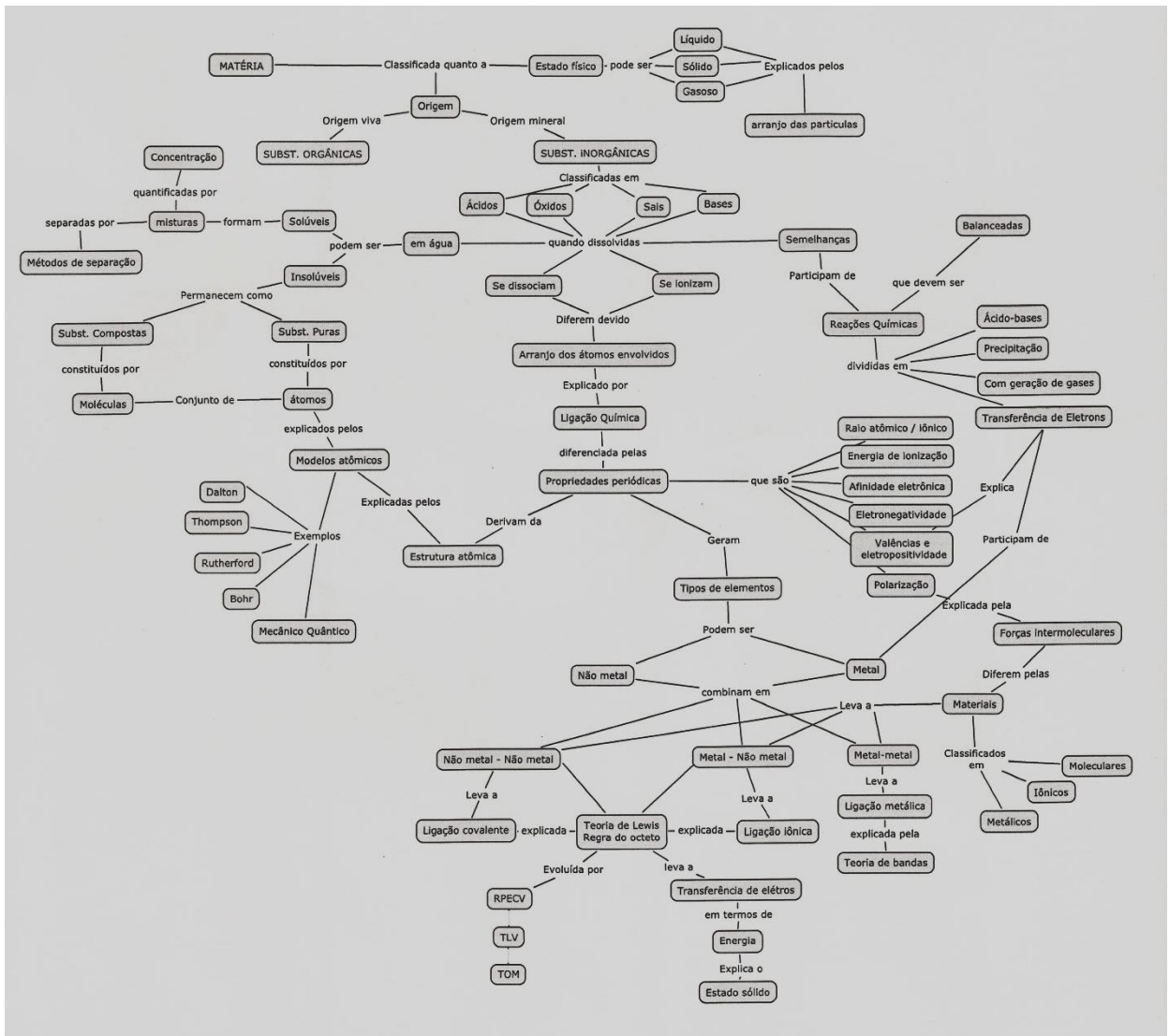
Quanto às questões que se propuseram a avaliar uma aprendizagem significativa, percebeu-se que as mesmas exigiram dos alunos um exercício cognitivo, como estabelecer relações entre os conteúdos aprendidos dentro do contexto proposto. Um exemplo de questão com essa característica foi proposta em uma das provas da disciplina de Química Inorgânica I, e é dada como segue: “Quando metais alcalinos reagem com água, esta reação se torna mais violenta, ao descermos no grupo. Podemos sintetizar isso como: Lítio reage suavemente com a água; Sódio reage violentamente; Potássio reage tão violentamente que o H₂ liberado se inflama; Césio e rubídio reagem explosivamente. Explique com base no modelo atômico moderno, por que ocorre esta variação de comportamento e dê a equação química genérica da reação que ocorre.”.

Outro exemplo de questão que se propôs avaliar uma aprendizagem memorística foi a seguinte: “O que são alótropos? Dê três exemplos de elementos que apresentam estas propriedades e descreva suas características.”. Pode-se perceber que esse tipo de questão exige dos alunos apenas uma recordação, ou a reprodução de ideias com as mesmas palavras, ou no mesmo contexto originalmente encontrado. Questões de natureza memorística versam sobre a cobrança de procedimentos e definições, enquanto que aquelas de natureza significativa focam a cobrança de explicações de fenômenos.

Com relação aos conteúdos da área da ciência Química trabalhados, pode-se dizer que foram condizentes com o planejamento proposto na ementa das disciplinas. No mapa conceitual da Figura 9, elaborado pelo professor, estão representados os conceitos-chave ensinados na disciplina de Química Geral. Quanto aos conteúdos abordados na disciplina de Química Inorgânica I, destacam-se os seguintes: Teoria atômica; Propriedades periódicas; Ligações químicas (ligações iônicas, ligações covalentes e ligações metálicas); Teorias de ligações químicas (TRPECV, TLV e TOM) e Propriedades dos elementos representativos.

A caracterização do contexto em que esta pesquisa foi desenvolvida se fez relevante, uma vez que muito revelam sobre o trabalho pedagógico e isso certamente influenciará na avaliação. Segundo Moreira e Veit (2010), a avaliação da aprendizagem é subsidiada pelas concepções de ensino e de aprendizagem que norteiam a ação do professor. Desse modo, se no cenário educativo convivem diferentes concepções de avaliação e diferentes formas de abordar do conteúdo, a avaliação servirá a diferentes objetivos.

Figura 9- Mapa conceitual elaborado pelo professor referente aos conceitos a serem trabalhados na disciplina de Química Geral.



Fonte: do professor.

3.4 RECURSOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS

Neste estudo, os dados foram coletados a partir do método da observação participante e consistiram em materiais produzidos pelos sujeitos de pesquisa e pelo pesquisador. Dentre esses materiais, destacam-se os registros do pesquisador em diário de campo e as produções textuais dos alunos, sendo estas respostas às questões avaliativas, propostas em provas; mapas conceituais; diagramas V e respostas ao questionário de caracterização. O momento em

que tais materiais foram coletados e o objetivo pretendido com cada uma das informações obtidas será discutido nos parágrafos seguintes.

O diário de campo foi utilizado durante todo o processo de coleta de dados, desde a disciplina de Química Geral, momento em que o pesquisador foi inserido no contexto da pesquisa, até a disciplina de Química Inorgânica I. Segundo Viana (2007), as observações registradas precisam elucidar os elementos que foram observados, bem como aquilo que o pesquisador entende a respeito do que se está observando.

Nesta pesquisa, a observação foi orientada no sentido de responder aos seguintes questionamentos:

(a) quais são os tipos de interações que se observam, ou seja, quem fala com quem, o que diz e com que objetivo e (b) o que é ensinado e o que é aprendido pelos alunos; as tarefas definidas para os alunos em sala e para realizar em casa; o grau de envolvimento dos mesmos e o nível de sucesso avançado; e (c) quais os critérios seguidos para a tomada de decisão em sala pelos alunos, pelos professores ou por ambos, depois de um processo de discussão e negociação (VIANA, 2007, p. 94).

Nesse sentido, buscaram-se registrar no diário de campo as informações que forneceram dados sobre a aprendizagem dos alunos, como aquelas apresentadas na citação acima. Quanto aos registros, Viana (2007) sugere que sejam de natureza narrativa e que se desenvolvam na mesma sequência na qual os eventos foram constatados no período de observação. Além do mais, é aconselhável fazê-los imediatamente para evitar que se fundamentem em recordações, ou que sejam comprometidos pelos lapsos de memória.

As notas de campo devem relatar o que ocorreu, quando ocorreu, em relação a que situações ou pessoas ocorreu, quem disse, a quem foi dito, o que foi dito e quais alterações ocorreram no contexto. Lofland (1971, apud Viana, 2007) lista cinco elementos que não devem faltar nas notas de campo:

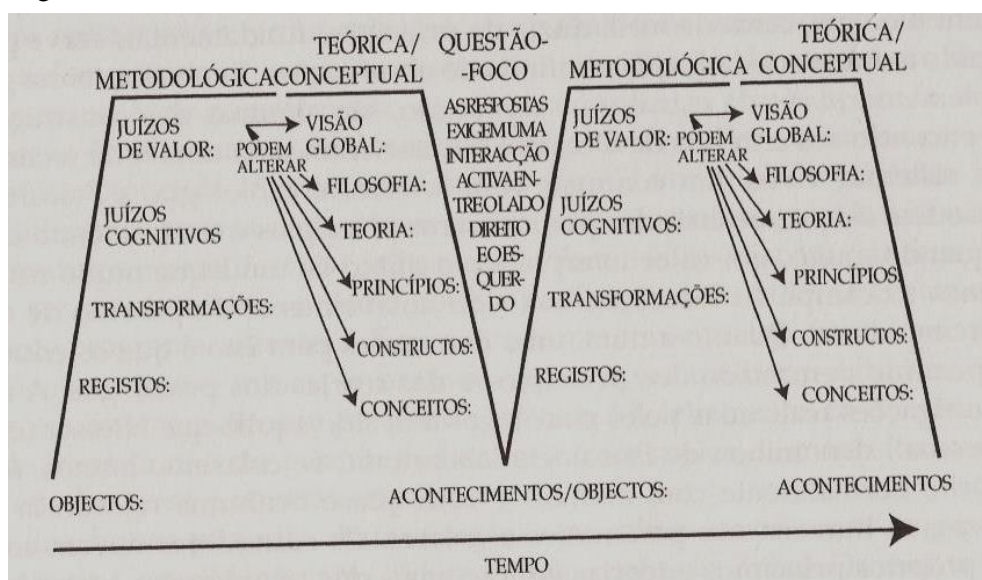
- a) descrições breves sobre ocorrências;
- b) elementos que foram esquecidos e depois retomados na lembrança;
- c) ideias analíticas e inferências;
- d) impressões e sentimentos;
- e) notas para futuras informações.

Além das narrativas, as observações podem ser registradas em gravadores (vídeo e audiotapes). No entanto, Selltiz, et al. (1967, apud Viana, 2007) destacam que não há um tipo ideal de registro dos dados. O importante é que se utilize o mais viável em termos econômicos, pois acabam apresentando melhores resultados. Nesse sentido, optou-se pelo uso da narração, uma vez que a audiogravação seria dificultada em decorrência da troca de

horários entre as disciplinas. Neste estudo, os registros foram feitos à medida que os eventos ocorreram, sendo possível registrar as interações entre os professores e alunos, mediante as discussões envolvendo os conteúdos da área da ciência Química, no contexto em que foram ensinados.

As questões avaliativas propostas em provas foram utilizadas para o levantamento das concepções dos alunos, referentes aos conteúdos estrutura da matéria, propriedades periódicas e ligações químicas. O levantamento dos dois primeiros fez-se necessário em decorrência de sua relevância para a compreensão do último. As informações obtidas foram posteriormente utilizadas, pelo pesquisador, para acompanhar o processo de construção do conhecimento de ligações químicas pelos alunos.

Figura 10- “Parada” de Vês.



Fonte: NOVAK, 1998, P. 95.

Os mapas conceituais e os diagramas V foram coletados nas disciplinas de Química Geral e Química Inorgânica I, entretanto, os fins para os quais se destinaram, foram diferentes. No primeiro caso, o objetivo foi instruir e familiarizar os alunos na elaboração dos instrumentos. A partir destes, buscou-se identificar a relevância das modificações propostas pelo pesquisador no “Vê” e a definição de uma metodologia de análise para os mesmos. Já o uso dos referidos instrumentos no segundo caso, teve por finalidade acompanhar o processo de construção do conhecimento sobre as ligações químicas, pelos sujeitos de pesquisa.

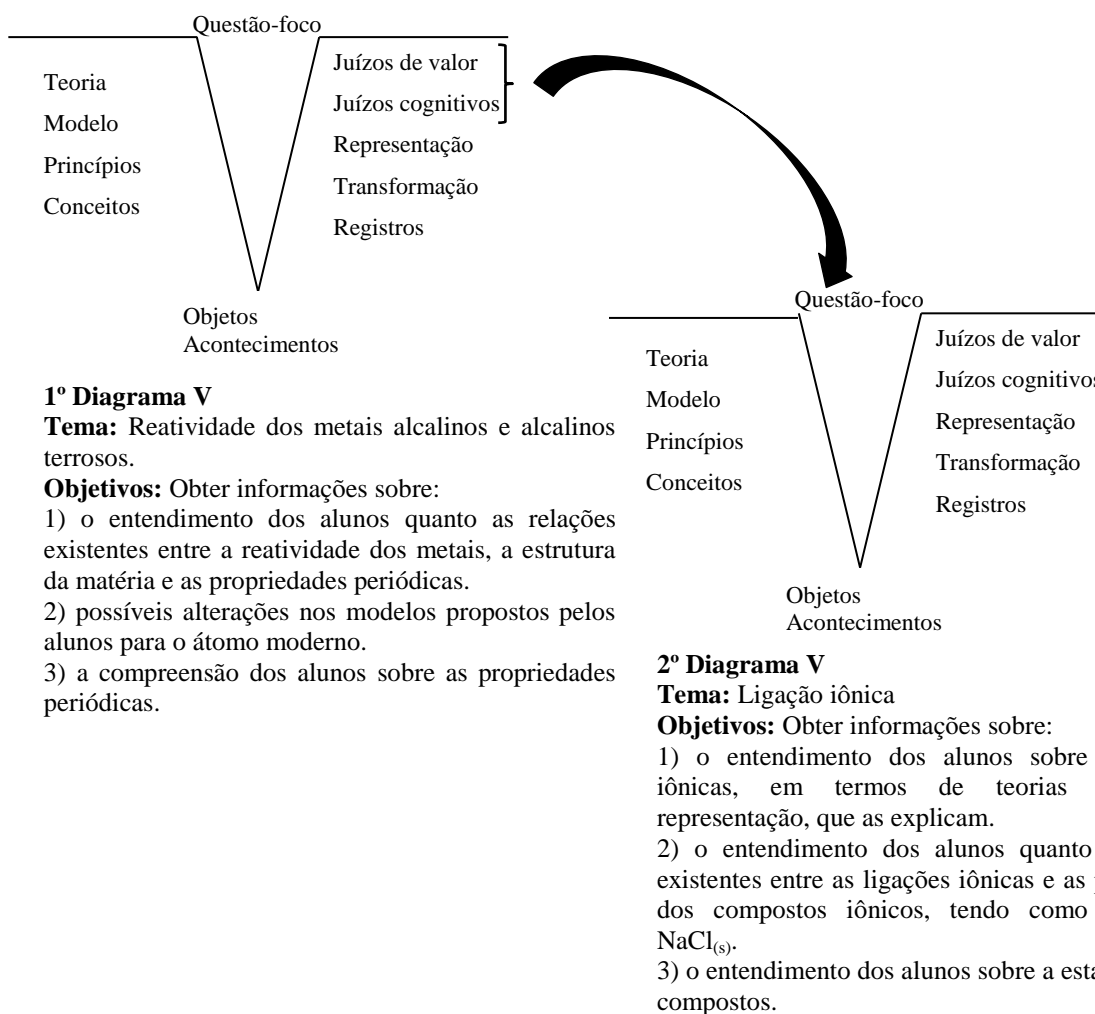
Neste estudo, o mapa conceitual foi utilizado como parte integrante do “Vê”, e consistiu em uma das modificações propostas pelo pesquisador ao instrumento. Além das

alterações na estrutura do “Vê”, o uso deste se deu em uma sequência, denominada por Novak (1998) “parada de Vês”, conforme ilustrado na Figura 10.

A partir da Figura 10, pode-se perceber que os novos conhecimentos são elaborados a partir daqueles que já são conhecidos, isto é, a relação entre eles leva à construção de novos ou modificados conceitos ou princípios, e mais raramente a elaboração de novas teorias. Desse modo, a “parada de Vês” ilustra o processo de aquisição de uma aprendizagem significativa, uma vez que os elementos da parte esquerda estão em constante modificação, em resultado da alteração de seus significados, pelos novos juízos cognitivos e de valor (NOVAK, 1998). A sequência de “Vês” que ilustra a construção do conhecimento sobre o conteúdo de ligações químicas, proposto neste estudo, está ilustrada na Figura 11.

Figura 11- Sequência de “Vês”, proposta pelo pesquisador, para a avaliação da compreensão dos alunos sobre o conteúdo de ligações químicas.

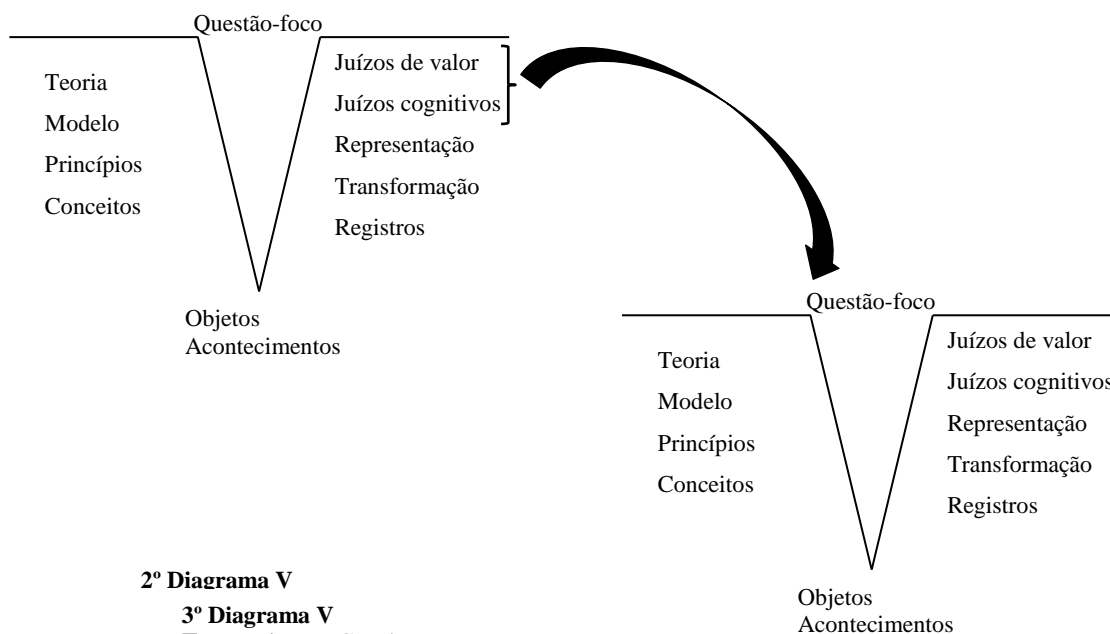
(Continua)



Fonte: do autor.

Figura 11- Sequência de “Vês”, proposta pelo pesquisador, para a avaliação da compreensão dos alunos sobre o conteúdo de ligações químicas.

(Continuação)



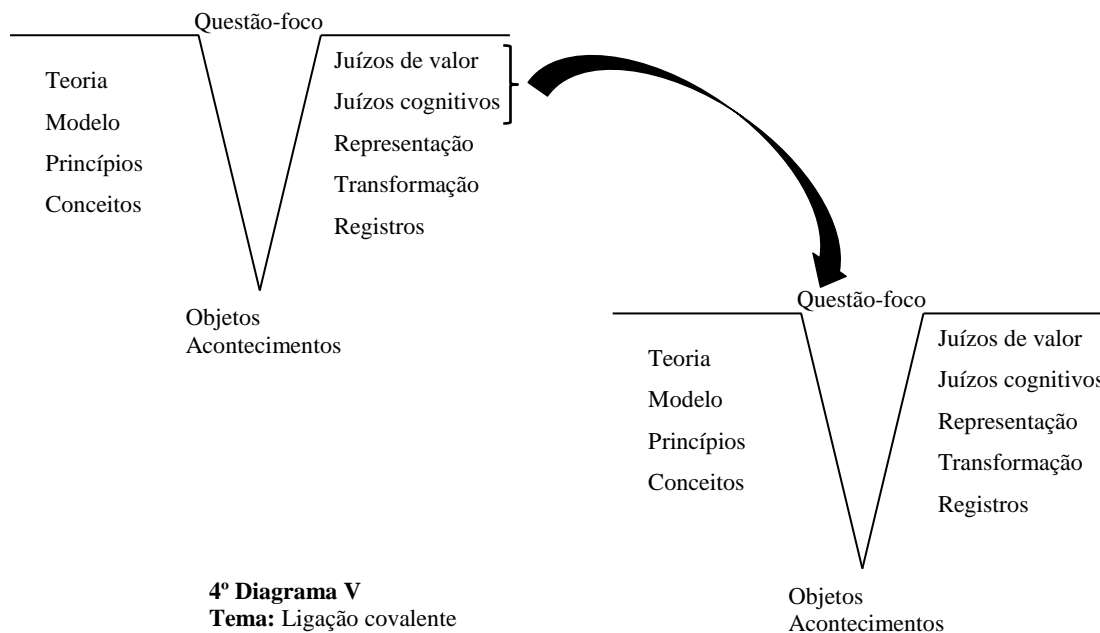
2º Diagrama V

3º Diagrama V

Tema: Ligação Covalente

Objetivos: Obter informações sobre:

- 1) o entendimento dos alunos sobre as ligações covalentes, em termos de teorias, de modelos e de representação, que as explicam.
- 2) o entendimento das relações existentes entre o modelo de ligação covalente proposto pela teoria da ligação de valência (TLV) e a forma das moléculas.
- 3) o entendimento das relações existentes entre as propriedades físicas dos compostos, a polaridade e as interações intermoleculares.



4º Diagrama V

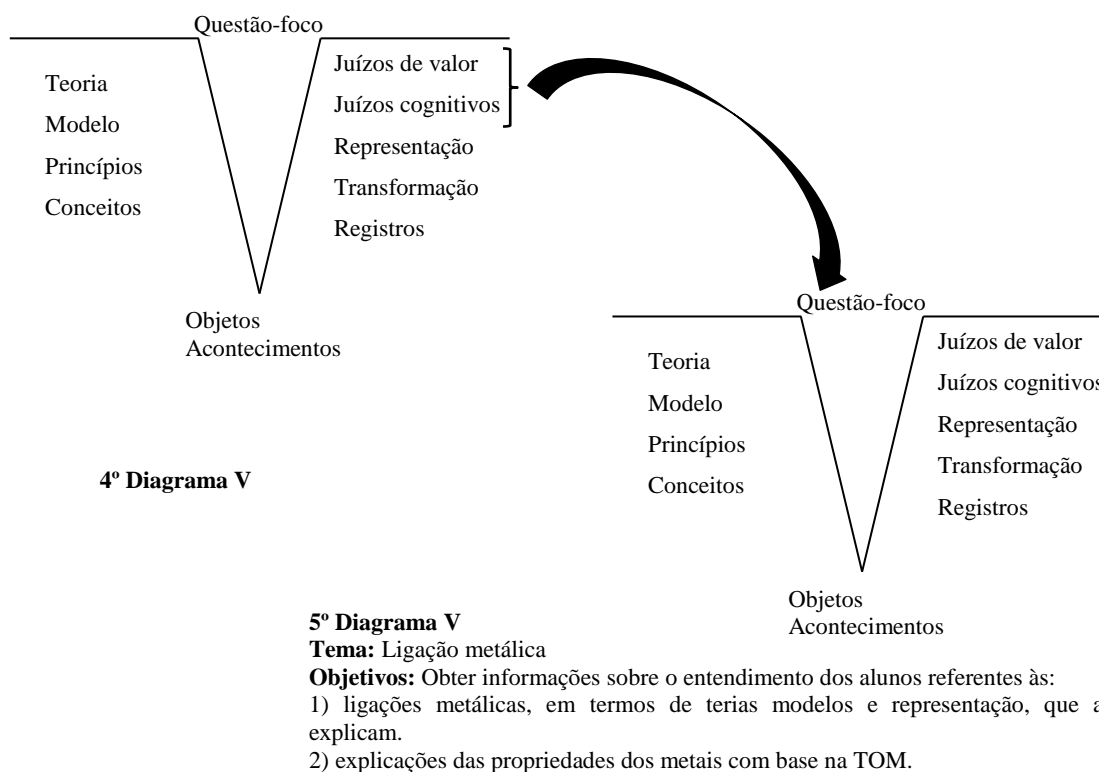
Tema: Ligação covalente

Objetivos: Obter informações sobre:

- 1) o entendimento sobre as ligações covalentes, em termos de teorias, modelos e representação, que as explicam.
- 2) o entendimento das diferenças existentes entre a TLV e a Teoria dos Orbitais moleculares e em que situações devem ser utilizadas;
- 3) o entendimento do conceito de ordens de ligação e sua relação com a energia de ligação e o comprimento de ligação.

Figura 11- Sequência de “Vês”, proposta pelo pesquisador, para a avaliação da compreensão dos alunos sobre o conteúdo de ligações químicas.

(Conclusão)



Fonte: do autor.

O esquema representado na Figura 11 revela que, para a elaboração das questões-foco de cada um dos “Vês”, exceto do primeiro, consideraram os conhecimentos produzidos nos juízos cognitivos e de valor, do “Vê” anterior. Além disso, o conhecimento a ser avaliado a partir das questões-foco teve por orientação os registros do diário de campo. A partir destes, foi possível identificar os conteúdos da área da ciência Química abordados pelo professor durante as aulas teóricas e teórico-práticas.

A elaboração do “Vê”, pelos alunos, foi norteadada pelo uso de textos-base (APÊNDICES B, C, D e E) e de questionário (APÊNDICE F). A partir dos textos-base, buscou-se apresentar uma discussão química referente aos conteúdos abordados no diagrama V anterior, de modo a estabelecer relações entre o conhecimento prévio e a nova informação, isto é, entre os conteúdos químicos do “Vê” anterior e do subsequente.

Com as discussões químicas apresentadas nos textos-base, pretendeu-se também esclarecer as incompreensões referentes ao conhecimento produzido, pelos alunos, identificadas com a correção dos “Vês”. Vale ressaltar que, para a elaboração do primeiro diagrama V, não foi utilizado texto-base, pois o contexto para sua construção foi definido a partir da realização da atividade prática.

Quanto ao uso do questionário, buscou-se orientar os alunos nos passos a serem seguidos para a elaboração do “Vê”, considerando-se a ordem em que as questões foram apresentadas. Ao todo, foram elaboradas 10 questões, cada uma delas referente a um dos elementos do “Vê”. Para a proposição das mesmas, foram consideradas as cinco questões de Gowin. Entretanto, devido às modificações do “Vê”, foi necessária a incorporação de outras questões, como, por exemplo, aquelas referentes aos elementos modelo e representação.

Vale destacar que o questionário proposto serviu apenas como instrumento para auxiliar os alunos na elaboração do “Vê” e não foram utilizados como dados de pesquisa. Em contrapartida, o questionário de caracterização dos sujeitos de pesquisa (APÊNDICE A) e avaliação dos alunos, quanto ao uso dos diagramas V e mapas conceituais, como instrumentos de avaliação (APÊNDICE G) foram considerados e analisados.

Bodgan e Biklen (2000) caracterizam os questionários como instrumentos investigativos que têm por objetivo obter informações a partir de uma série de questões referentes ao tema de interesse do pesquisador. Com o questionário, (APÊNDICE G) buscou-se obter informações sobre a experiência dos alunos com o uso dos instrumentos e sua relevância para a avaliação da aprendizagem em comparação àqueles outros, utilizados no processo avaliativo. Desse modo, puderam-se identificar as vantagens, as desvantagens e contribuições, apontadas pelos alunos quanto ao uso das ferramentas.

3.5 MODIFICAÇÕES DO VÊ

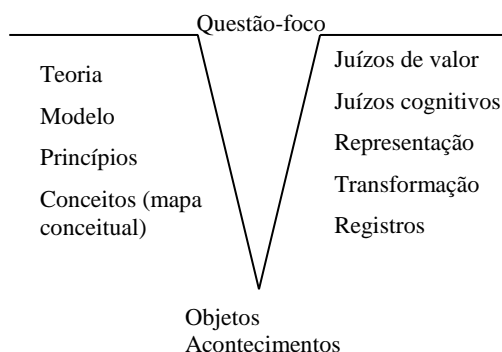
Tendo em vista a possibilidade de se adaptar o diagrama V, propuseram-se neste estudo algumas modificações em sua estrutura, a fim de potencializar a aplicação desta ferramenta na avaliação da aprendizagem de conteúdos da área da ciência Química. As modificações sugeridas pelo pesquisador foram:

- a) omissão de alguns elementos do lado esquerdo, como visão de mundo, filosofia e construtos;
- b) apresentação dos conceitos, lado esquerdo, na forma de um mapa conceitual;
- c) inserção de um elemento no lado esquerdo (modelo), e um do lado direito (representação).

A estrutura do “Vê” após as alterações está representada na Figura 12.

A omissão dos elementos do lado esquerdo justifica-se por tratarem de termos de pouco conhecimento dos alunos, já que não foram abordados no processo de ensino. A inserção dos mapas conceituais mostrou-se relevante, uma vez que é possível identificar as relações existentes entre os conceitos referentes aos objetos e/ou aos acontecimentos estudados, e não somente listá-los. A partir do mapa conceitual, é possível avaliar a compreensão dos conceitos pelos alunos e como se dá a organização dos mesmos na estrutura cognitiva.

Figura 12- Diagrama V modificado.



Fonte: do autor.

Para a inserção dos elementos modelo e representação, levou-se em consideração a natureza do conhecimento a ser avaliado (ligação química) e o contexto de aplicação (ciência Química). Quanto ao conhecimento a ser avaliado, pode-se dizer que perfaz o entendimento dos modelos propostos pelos cientistas para explicarem como os átomos se encontram ligados, formando os compostos.

Nesse sentido, os modelos desempenham um papel de grande relevância no contexto da ciência Química. Chassot (2011) salienta que os mesmos consistem nas ferramentas que os químicos utilizam para compreender um mundo do qual não se tem acesso real. Segundo Justi (2011), as explicações propostas no contexto da Química, são essencialmente abstratas. Por isso, os modelos permitem aos químicos, de certa forma, ter uma “visão” das entidades ou dos processos que se está investigando. Desse modo, os modelos favorecem os processos de raciocínio e de construção do conhecimento.

Os modelos propostos para os átomos e para os compostos covalentes, metálicos ou iônicos, por exemplo, resultam do conhecimento que se tem de suas propriedades. Avaliar o conhecimento químico requer, portanto, compreender os significados que os alunos atribuem aos modelos. Desse modo, é relevante que ao, se propor instrumentos para avaliar a aprendizagem dos alunos, os modelos sejam considerados.

Segundo Bunge (2008), “[...] um modelo teórico é um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo, que é, por sua vez, uma representação conceitual esquemática de uma coisa ou de uma situação real ou suposta como tal” (p. 16). O autor destaca, ainda, que os modelos teóricos são parciais e aproximativos, compreendem uma parcela das particularidades do objeto que é representado. Desse modo, é preciso que as ideias sejam sempre aperfeiçoadas. É a partir dos modelos que as fórmulas e as leis são elaboradas, consistindo, portanto, em aproximações da realidade (CHASSOT, 2011).

Com a inserção dos modelos, buscou-se, a partir da interação entre os mesmos com os demais elementos do “Vê”, avaliar o entendimento dos alunos sobre os modelos que os químicos propuseram para a explicação das ligações químicas. Outros aspectos possíveis de serem avaliados são:

a) a relação que os estudantes estabelecem entre os modelos teóricos, as teorias e as propriedades do objeto-modelo;

b) como tais conhecimentos são utilizados para a escolha de um ou de outro modelo para explicar as propriedades dos materiais estudados.

Segundo Bunge (2008), quanto maior for a necessidade de ser ter uma fidedignidade do real, mais complexos serão os modelos teóricos requeridos. A título de exemplificação, o autor apresenta uma situação a partir da qual se pode inferir sobre a relação entre modelos teóricos e as propriedades do objeto-modelo. Para explicar as propriedades exibidas por materiais isolantes, condutores e semicondutores, o autor fez uso do modelo teórico de bandas. Este permite predizer sobre as propriedades macrofísicas da maioria dos cristais puros, tais como a condutividade térmica/elétrica, a suscetibilidade magnética, as propriedades ópticas e outras. Tais propriedades estão relacionadas à ocupação das bandas pelos elétrons. Quando todas as bandas de energia estiverem ocupadas pelos elétrons, não haverá corrente elétrica e o material será considerado isolante.

Quanto à inserção da representação, no lado direito do “Vê”, buscou-se evidenciar a compreensão dos alunos referente aos objetos-modelo, mediante as relações estabelecidas entre a mesma e os demais elementos. Bunge (2008, p. 22) define o objeto-modelo como “[...] uma representação de um objeto: ora perceptível, ora imperceptível, sempre esquemático e, ao menos em parte, convencional. O objeto representado pode ser uma coisa ou um fato. Neste último caso, teremos eventos-modelo.”

Segundo o autor, qualquer representação esquemática de um determinado objeto pode ser considerada um objeto-modelo. A representação, por sua vez, pode ser pictórica (desenho) ou conceitual (fórmula matemática, por exemplo). Nesta pesquisa, buscou-se trabalhar com as

representações pictóricas, ou seja, com a representação de átomos, orbitais atômicos, moleculares e híbridos, moléculas, estruturas cristalinas. Em alguns casos, trabalhou-se com diagramas de níveis de energia de orbitais moleculares.

Vale ressaltar que as representações são parciais e mais ou menos convencionais. Desse modo, alguns dos traços dos referentes do objeto-modelo não são abordados, e alguns elementos imaginários são incluídos. Assim, o que se recaptura são aproximadamente as relações entre os aspectos que os referidos objetos incorporam.

3.6 ETAPAS DA COLETA DE DADOS

As etapas de coleta de dados foram divididas em dois momentos: a disciplina de Química Geral e a disciplina de Química Inorgânica I. Tal divisão esteve relacionada com a natureza dos dados coletados. No primeiro momento, buscaram-se informações a respeito das concepções dos alunos sobre a estrutura da matéria e propriedades periódicas. No segundo momento, buscaram-se elementos referentes à aprendizagem dos alunos sobre ligações químicas. As descrições das atividades desenvolvidas em cada um dos momentos serão apresentadas a seguir e na sequência mencionada.

3.6.1 1º momento- disciplina de química geral

A pesquisa iniciou-se com a inserção do pesquisador no campo, para o acompanhamento das aulas, para o estabelecimento de contato com os alunos e para o desenvolvimento do estudo inicial. Isso ocorreu após a aprovação do projeto pelo CEP (Comitê de Ética em Pesquisa) da UNIFAL-MG. Nesse momento, os alunos foram informados sobre a proposta da pesquisa e foi entregue a eles a carta de informação e o termo de consentimento livre e esclarecido (APÊNDICE H).

Os objetivos do estudo inicial foram:

- a) apresentar e instruir os alunos na elaboração dos instrumentos de pesquisa;
- b) elaborar um mapa conceitual e um diagrama V de teste;

c) levantar as concepções dos alunos sobre a estrutura da matéria e sobre propriedades periódicas, isto é, sobre os subsunçores necessários à aprendizagem de ligações químicas;

d) determinar a metodologia de análise dos instrumentos de pesquisa. Este último objetivo será abordado no subtítulo a seguir.

As atividades planejadas e desenvolvidas foram divididas em duas etapas, conforme descrito a seguir.

Etapa A- Apresentação/Instrução/Elaboração de mapas conceituais e diagramas V de teste

Antes de apresentar e instruir os alunos na elaboração dos diagramas V fez-se primeiramente a apresentação dos mapas conceituais, conforme sugerido por Novak e Gowin (1984). Isso contribuiu para que os alunos se familiarizassem com dois dos elementos do “Vê”, os conceitos e os objetos e/ou os acontecimentos.

Para instruir os estudantes na elaboração dos mapas conceituais, foram ministradas duas aulas de cinquenta minutos cada. Inicialmente, trabalhou-se a ideia de conceito, de objetos, de acontecimentos e de regularidades como sugerido por Novak e Gowin (1984) (ANEXO A). Em seguida, fizeram-se considerações sobre os demais elementos dos mapas, como as palavras de ligação e as proposições. Além do mais, foram destacadas as características dos mapas como a organização hierárquica dos conceitos e o estabelecimento de ligações cruzadas. Para finalizar, foram apresentados exemplos de mapas conceituais referentes a conceitos da área da ciência Química.

Após as instruções, foi solicitada a elaboração individual de um mapa conceitual, referente ao artigo científico intitulado “Reações Químicas: fenômenos, transformações e representação”, extraído da Revista Química Nova na Escola (ANEXO B). A partir da leitura do artigo, foram selecionados, pelos alunos, de 10 a 15 conceitos, organizados de forma hierárquica. Essa lista foi utilizada na elaboração dos mapas conceituais. Por meio destes, buscou-se identificar a compreensão dos alunos sobre a metodologia de elaboração dos mesmos, ajudá-los a extrair conceitos específicos (palavras) de material escrito e levá-los a estabelecer relações significativas entre conceitos.

A avaliação dos mapas se deu como base nos aspectos metodológicos envolvidos em sua construção. Assim, foram considerados os conceitos mapeados, as palavras de ligação utilizadas, as proposições válidas, a hierarquia e a estrutura dos mesmos. Tais critérios estão sustentados na Teoria da Aprendizagem Significativa.

Com análise, foi possível identificar possíveis dificuldades a serem superadas na elaboração dos mapas conceituais, a fim de que estes pudessem ser utilizados como parte

integrante do “Vê”. Dentre as dificuldades percebidas, destaca-se aquela relacionada com a metodologia de elaboração do instrumento. Isso levou ao planejamento de mais duas aulas para se discutir sobre as dificuldades observadas e para a reelaboração dos mapas, em grupos de, no máximo, quatro alunos. Para isso, foram apresentados aos alunos exemplos de bons e maus mapas conceituais, partindo-se daqueles construídos pelos. Posteriormente, o pesquisador reconstruiu, no quadro, com os alunos o mapa conceitual, destacando as proposições significativas e de clareza semântica, bem como a natureza hierárquica, a importância das palavras de ligação para revelar o significado da relação proposicional e a relevância do contexto, ou da questão-foco, para a seleção, organização dos conceitos e formação de proposições.

A importância da reelaboração dos mapas é justificada por Novak e Gowin (1984). Segundo esses autores, o primeiro mapa quase sempre apresenta falhas, tais como: a dificuldade em expressar relações hierárquicas importantes; conceitos com significados familiares podem ser colocados em lados opostos do mapa; relações confusas podem ser reveladas; presença de erros ortográficos. Além dessas observações, pode-se acrescentar a ausência de palavras de ligações e/ou uso de conceitos, de frases e de perguntas como tais, o uso de palavras não conceitos como conceitos e ausência de exemplos.

Após as atividades com os mapas conceituais, iniciou-se aquelas referentes aos diagramas V. Para instruir os alunos na elaboração de tais instrumentos, foram preparadas duas aulas de cinquenta minutos cada, nas quais se discutiu a forma do V, o significado de seus elementos, a importância da articulação entre os domínios teórico-conceitual e o metodológico. Além do mais, foram apresentados diagramas V referentes a conteúdos da área da ciência química e de forma o conhecimento químico é revelado a partir do “Vê”.

Uma vez que os alunos se familiarizaram com o “Vê” de Gowin, foi apresentado a eles o diagrama V com as modificações propostas pelo pesquisador e foi sugerida a elaboração de um diagrama V, a partir de uma atividade prática intitulada “Determinação da curva de solubilidade do nitrato de potássio”.

O objetivo da atividade prática foi coletar dados para a construção da curva de solubilidade do nitrato de potássio. O procedimento experimental consistiu em preparar, em tubos de ensaio, 8 soluções aquosas de nitrato de potássio com as seguintes massas 5,0 g; 4,5 g; 4,0 g; 3,5 g; 3,0 g; 2,5 g; 2,0 g e 1,5 g. Após o preparo das soluções, as mesmas foram aquecidas em banho-maria até a total dissolução do sal e, em seguida, resfriadas em temperatura ambiente até o início da cristalização do nitrato de potássio. As temperaturas nas

quais se observou o início da cristalização foram anotadas para a confecção da curva de solubilidade.

A elaboração do “Vê” foi norteadada pela seguinte questão-foco: “Como se comporta a solubilidade do nitrato de potássio em água, com a temperatura?”. A partir dessa questão, identificaram-se os objetos e os acontecimentos observados no laboratório e suas regularidades e, em seguida, propôs-se a confecção de um mapa conceitual. A questão-foco serviu de contexto para a elaboração dos mapas que tiveram por objetivo expor o significado das relações entre o conceito solubilidade e aqueles envolvidos na investigação.

Com a elaboração dos mapas e dos demais elementos do lado esquerdo do “Vê”, percebeu-se que os alunos apresentaram algumas dificuldades em realizá-la, devido a algumas incompreensões referentes aos aspectos teóricos. Nesse momento, foram feitas discussões químicas na tentativa de sanar algumas das dificuldades observadas e auxiliar os alunos na elaboração do diagrama V.

A construção do lado direito iniciou-se pelos registros. Estes consistiram nos dados das massas e temperaturas de cristalização do nitrato de potássio, anotados no caderno de laboratório e obtidos com a realização da atividade experimental. A partir desses dados, elaborou-se a curva de solubilidade e juízos cognitivos e de valor foram propostos. No elemento representação, buscou-se representar o processo de dissolução do nitrato de potássio em água.

A partir dos diagramas V construídos pelos alunos, foi possível definir uma metodologia de análise para os mesmos e identificar seu potencial para a avaliação da aprendizagem de conteúdos químicos. Vale ressaltar que a escolha da atividade experimental como contexto para a elaboração dos “Vês” justifica-se pelo fato de os acontecimentos e objetos investigados terem sido manipulados pelos alunos, sendo facilmente identificados. Isso, de certa forma, pôde contribuir para a compreensão do “Vê”.

A etapa de levantamento da compreensão dos alunos sobre a elaboração de mapas conceituais e o treinamento para a elaboração dos instrumentos, que incluiu elaboração em grupo e individual, fez-se relevante, uma vez que essas ferramentas apresentam metodologias específicas para sua elaboração. Toigo; Moreia e Costa (2010); Toigo e Moreira (2012) relatam que a elaboração das referidas ferramentas de forma colaborativa apresenta pontos positivos, uma vez que há a possibilidade de discutir, compartilhar, negociar significados, os quais, muitas vezes não são captados individualmente. Isso pode contribuir, portanto, para a aprendizagem mais efetiva das técnicas.

Aguiar (2013) relata que a elaboração de mapas conceituais por alunos iniciantes requer um esforço cognitivo maior, pois os estudantes além de aprenderem o conteúdo (carga intrínseca), deverão aprender a técnica (germane) e ainda se ocuparem de atividades desnecessárias que aparecerão ao longo da instrução (carga extrínseca). Contudo, se os alunos apresentarem experiência com a elaboração da ferramenta, o esforço cognitivo será diminuído, uma vez que a aprendizagem da técnica terá sido adquirida. Desse modo a memória de trabalho do aluno se ocupará da complexidade do conteúdo e de eventuais atividades que possam prejudicar sua automação.

Neste sentido, a fim de minimizar a sobrecarga da memória de trabalho dos alunos para durante a construção das ferramentas na disciplina de Química Inorgânica I, optou-se por iniciar o trabalho de treinamento na disciplina de Química Geral, fazendo-se uso de conteúdos da área da ciência química abordados na mesma. Além do mais, elaborou-se um questionário (APÊNDICE F) para orientar os alunos na elaboração do diagrama V modificado.

Etapa B- Levantamento das concepções dos alunos referentes à estrutura da matéria e propriedades periódicas

O levantamento das concepções dos alunos sobre a estrutura da matéria e de propriedades periódicas fez-se relevante, uma vez que tais conhecimentos são considerados subsunçores para a aprendizagem do conteúdo de ligações químicas. Tal levantamento foi realizado a partir de questões propostas em provas da disciplina de Química Geral.

As questões utilizadas para o levantamento das concepções sobre estrutura atômica foram as seguintes:

Questão 2) O que é o princípio da Incerteza de Heisenberg? Explique qual a relação entre este princípio, fóton e o modelo de átomo moderno. (Prova 1)

Questão 4) Desenhe (em quantas partes forem necessárias) como você imagina que seja o átomo moderno. (Prova Suplementar)

As questões utilizadas para o levantamento das concepções sobre propriedades periódicas foram as seguintes:

Questão 1) Descreva o que é energia de ionização e eletronegatividade. Explique com base na configuração eletrônica, qual a relação entre estas propriedades periódicas e o tamanho do átomo. (Prova 2)

3.6.2 2º momento- disciplina de química inorgânica I

No segundo momento, a observação participante foi direcionada para a coleta de dados referentes à aprendizagem dos alunos sobre o conteúdo de ligações químicas. Para isso, o pesquisador acompanhou e registrou, em diário de campo, as discussões entre o professor e os alunos, durante as aulas e realizou algumas atividades, além daquelas relacionadas à elaboração dos diagramas V.

Dentre as atividades elaboradas pelo pesquisador participante na situação observada, destacaram-se as seguintes:

- a) modificação do roteiro experimental de uma das atividades práticas;
- b) elaboração de um estudo dirigido e de um texto referentes à estrutura da matéria e propriedades periódicas;
- c) seleção de alguns artigos científicos relacionados à carga nuclear efetiva e à regra do octeto;
- d) planejamento e aplicação de duas aulas referentes aos elementos químicos da família do boro.

O estudo dirigido, os artigos e os slides das aulas foram disponibilizados aos alunos, por e-mail. A elaboração dos dois primeiros teve por finalidade de esclarecer algumas dúvidas que foram identificadas durante as correções dos instrumentos. O roteiro experimental modificado foi aquele referente a uma atividade prática intitulada: “reatividade dos metais alcalinos e alcalinos terrosos”. A modificação visou quebrar a sequência de passos e acontecimentos preestabelecida característica dos roteiros utilizados na disciplina de Química Geral. Desse modo, em vez de se utilizar um roteiro, os alunos fizeram uso do diagrama V elaborado em aula anterior a realização da atividade prática.

O primeiro diagrama V elaborado ocorreu em grupos de no máximo quatro alunos e foi referente à atividade prática citada no parágrafo anterior. Para isso, foram propostas as seguintes questões-foco: “Dentre os metais alcalinos ($K_{(s)}$ e $Na_{(s)}$) e alcalinos terrosos ($Mg_{(s)}$ e $Ca_{(s)}$) estudados, quais apresentaram maior reatividade frente à água? Qual é a relação entre a configuração eletrônica e as propriedades periódicas desses metais com a sua reatividade?”. A partir dessas questões, procurou-se levantar as concepções dos alunos referentes à estrutura da matéria e propriedades periódicas e, contrastá-las com aquelas apresentadas na disciplina de Química Geral.

Para auxiliar os estudantes na elaboração do primeiro “Vê”, o pesquisador propôs um estudo dirigido (APÊNDICE I) a ser resolvido antes da construção do referido instrumento. Esse estudo foi composto por uma série de questões abertas, referentes aos conteúdos estrutura da matéria, de propriedades periódicas e de outras, envolvendo o conceito de

reatividade. A maioria dos alunos, no entanto, não resolveu as questões e/ou não apresentou dúvidas.

A construção do “Vê” se deu em dois momentos, antes da realização da atividade prática e após a mesma. No primeiro momento, elaborou-se o lado esquerdo e no segundo, o lado direito. Para a realização da atividade experimental, foram disponibilizados sobre as bancadas, os seguintes materiais: os metais cálcio (granulado), magnésio (em fita), sódio e potássio (ambos mergulhados em querosene); béquer de 150 mL; vidro de relógio; suporte universal; garra universal; tubo de vidro; água destilada; fósforo; fenolftaleína; pinça e lixa.

A partir das questões-foco e dos materiais disponibilizados, os alunos propuseram os procedimentos a serem realizados. Estes se resumem como segue: em quatro béqueres de 150 mL, foram colocadas cerca de 50 mL de água destilada e três gotas de fenolftaleína. Esses sistemas foram montados para se determinar a reatividade dos metais em água. No caso do metal magnésio, o sistema foi um pouco diferente, pois a fita do metal, após ter sido lixada, foi inserida no béquer por meio de um tubo de vidro preso por um suporte. Após a reação do referido metal com a água, aproximou-se do tubo de vidro um fósforo aceso a fim de se identificar um dos produtos da reação.

A partir dos registros obtidos com a realização do experimento, os alunos elaboraram o lado direito do “Vê”. Os mapas conceituais e diagramas V construídos foram analisados e os resultados foram utilizados para a proposição do “Vê” seguinte e para a elaboração de um texto referente à estrutura atômica dos átomos. O texto foi elaborado pelo pesquisador e fornecido aos alunos por meio do e-mail da turma, com o objetivo de sanar algumas das incompreensões conceituais observadas com a correção dos instrumentos, contribuindo para a elaboração do modelo quantomecânico para o átomo. O texto reuniu trechos e figuras extraídos dos livros didáticos utilizados pelos alunos na disciplina e de sites da internet.

Antes da elaboração do segundo “Vê”, levantaram-se as concepções dos alunos, sobre a ocorrência das ligações químicas. Para isso, foi proposta a seguinte questão: “Quais são os fatores que determinam a ocorrência das ligações químicas?”. A partir dessa questão, buscou-se levar os alunos a proporem explicações para a ocorrência das ligações químicas.

O contexto para a elaboração do segundo “Vê” se deu a partir de um texto-base elaborado pelo pesquisador. Com o referido texto, buscou-se estabelecer uma relação entre o conhecimento produzido no primeiro diagrama V e aquele a ser construído. Este foi referente ao conteúdo de ligação iônica.

A partir dos juízos cognitivos e de valor construídos no primeiro diagrama V, foi sugerida uma nova investigação. Esta foi definida com base nos conhecimentos sobre a

reatividade dos metais em água e sua relação com a formação de compostos iônicos, como o $\text{NaCl}_{(s)}$. As questões-foco propostas para essa investigação foram as seguintes: “Qual é a natureza da ligação química responsável pela formação do $\text{NaCl}_{(s)}$? Qual é o fator responsável por sua estabilidade? Por que o $\text{NaCl}_{(s)}$ é um sólido quebradiço, solúvel em água e com altos pontos de fusão e ebulição?”.

Com as questões-foco propostas, buscou-se levantar a compreensão dos alunos referente às ligações iônicas, quanto às teorias e aos modelos que as explicam, e qual é a relação entre elas e as propriedades dos compostos. Além do mais, pretendeu-se também identificar se houve alguma mudança de concepção referente à estabilidade das ligações químicas.

A construção do segundo “Vê” se deu de forma individual e ocorreu após a abordagem dos conteúdos de ligações químicas e de ligação iônica. A partir da análise do referido instrumento, identificaram as dificuldades dos alunos com os conteúdos da área da ciência Química, abordados e se elaborou o texto-base para o terceiro “Vê”.

No texto-base proposto para o terceiro “Vê”, buscou-se discutir quimicamente os aspectos teóricos e metodológicos relacionados aos diagramas anteriores e expor as relações existentes entre os conteúdos químicos abordados no segundo “Vê” e aqueles a serem construídos no terceiro. As questões-foco deste último foram propostas a partir dos juízos cognitivos e de valor construídos no diagrama anterior e se pautou nas diferenças entre os metais e os ametais, em relação à forma como são encontrados na natureza e aos tipos de compostos que podem formar.

O terceiro “Vê” foi elaborado individualmente, após a realização da atividade prática intitulada “O enxofre e seus compostos” e substituiu o relatório tradicional. O experimento desenvolveu-se de forma tradicional, seguindo o roteiro procedimental. Os registros de laboratório foram utilizados para a confecção do diagrama V.

A atividade prática referida no parágrafo anterior envolveu os seguintes procedimentos: alguns pedaços da substância enxofre foram aquecidos em um cadinho, dentro da capela, até a fusão. Em seguida, a substância fundida foi vertida em um béquer contendo 100 mL de água. O objetivo desse experimento consistiu na verificação de algumas das propriedades do enxofre.

As questões-foco propostas para a elaboração do “Vê” foram: “Qual é a natureza das ligações S-S-S nos anéis S_8 de enxofre, e qual é a forma do anel? O enxofre é um sólido quebradiço, com baixo ponto de fusão e ebulição e insolúvel em água. Quais os fatores responsáveis por essas propriedades? Como essas propriedades podem explicar o fenômeno

observado ao aquecer o enxofre fundido e posteriormente submetê-lo a um resfriamento em água?”. A partir dessas questões, buscou-se levantar informações sobre o entendimento dos alunos sobre as ligações covalentes e o uso de determinadas teorias para o estudo das mesmas. Além disso, pretendeu-se estabelecer uma comparação entre as ligações covalente e iônica e as diferenças nas propriedades dos compostos em que elas estão presentes.

Do terceiro “Vê” em diante, não se elaborou um mapa conceitual para cada um dos diagramas, mas, ao final da sequência de “Vês”, foi sugerida a construção de um único mapa englobando todos os diagramas e suas respectivas questões-foco. O tema do quarto “Vê” também foi referente à ligação covalente. Esta, entretanto, foi abordada sob o ponto de vista da Teoria dos Orbitais Moleculares (TOM), enquanto que no terceiro “Vê” as explicações se deram a partir da Teoria da Ligação de Valência (TLV).

As discussões químicas propostas no texto-base para a elaboração do quarto “Vê” tiveram por objetivo expor as diferenças entre as TLV e a TOM para a explicação das ligações covalentes e as situações em que o uso de uma ou de outra será mais indicado. Para isso, comparou-se a substância enxofre, encontrada na natureza na forma cristalina com a substância oxigênio e encontrada na forma gasosa, constituída por moléculas diatômicas.

As questões-foco propostas para a elaboração do quarto “Vê” foram: “Considerando-se que a substância oxigênio $O_{2(g)}$ é paramagnética, como podemos explicar as ligações químicas das moléculas lineares de O_2 ? O que explica sua elevada energia de ligação? Por que o comprimento da ligação O-O do íon O_2 é maior do que aquela na molécula de O_2 ?”. A partir dessas questões, buscou-se avaliar a compreensão dos alunos referente a TOM e como esta explica as ligações covalentes. Pretendeu-se também compreender o entendimento do conceito de ordem de ligação e sua relação com os conceitos comprimento de ligação e energia de ligação.

O terceiro e o quarto “Vês” foram elaborados durante o processo de ensino de ligações covalentes e metálicas. Já o quinto e último “Vê”, ocorreu ao final do ensino de ligação metálica, último conteúdo sobre ligações químicas, abordado pelo professor. Esse diagrama teve como tema as ligações metálicas e foi proposto a partir dos juízos cognitivos e de valor construídos no “Vê” anterior e com base nas propriedades observadas para os metais estudados na atividade experimental intitulada “Reatividade dos metais alcalinos e alcalinos terrosos”. Desse modo, buscou-se propor uma explicação para as características observadas para os metais e sua relação com a TOM. Tais diagramas foram elaborados de forma individual.

As questões-foco propostas foram: “Qual é a natureza das ligações químicas presentes no $\text{Li}_{(s)}$? Como se explicam suas propriedades como brilho, condutividade elétrica e térmica?”. A partir dessas questões, pretendeu-se obter informações sobre a compreensão dos alunos referente às ligações metálicas, bem como o modelo que eles possuem em suas estruturas cognitivas e sua relação com a TOM.

A construção dos mapas conceituais ao longo do processo de ensino e de aprendizagem tornou-se cada vez menos livre. A elaboração do primeiro mapa ocorreu em grupo e os conceitos a serem mapeados foram sugeridos pelos alunos. No segundo e no terceiro mapas, a construção foi individual e alguns dos conceitos foram propostos pelo pesquisador.

Para a elaboração do segundo mapa, forneceram-se os conceitos relacionados à estrutura da matéria e às propriedades periódicas. Os conceitos inseridos pelos alunos referiram-se à ligação iônica. No caso do terceiro e último mapa, forneceram-se os conceitos relacionados com a estrutura da matéria, propriedades periódicas e ligações iônicas. Os alunos acrescentaram os conceitos referentes às ligações covalentes e metálicas, envolvidos nas discussões propostas pelas questões-foco do terceiro, do quarto e do quinto “Vês”.

A construção dos mapas conceituais ocorreu em contextos diferentes, segundo as questões-foco propostas em cada “Vê” ao longo do processo de ensino e de aprendizagem. Desse modo, era esperado que os significados das relações estabelecidas entre os conceitos se alterassem à medida que novos conceitos fossem aprendidos e inseridos no mapa.

Vale ressaltar que a elaboração das questões-foco e a sequência dos “Vês” levou em consideração os registros de diário de campos, referentes aos conteúdos da área da ciência Química trabalhados pelo professor. Além do mais, a sequência também visou estabelecer uma ordem para a organização do conhecimento construído, de modo que os alunos pudessem perceber que há uma relação entre o conhecimento anterior e aquele a ser construído.

Segundo Novak (1998), a construção do conhecimento é simplesmente uma extensão da capacidade que os homens têm de construir novos significados. Adquirem-se, assim, novos conceitos e se estabelecem relações entre conceitos na estrutura cognitiva.

3.7 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos dados, utilizaram-se diferentes metodologias, segundo o objetivo pretendido com cada um deles. As metodologias utilizadas na análise das questões avaliativas e dos diagramas V e mapas conceituais estão descritas a seguir.

Vale ressaltar que os dados obtidos com o diário de campo serviram de base para o delineamento da pesquisa, para a caracterização do contexto da pesquisa, para a elaboração dos instrumentos avaliativos e para o fornecimento de falas do professor e dos alunos no processo interativo ocorrido nas aulas. Os dados obtidos com o questionário forneceram informações descritas a respeito da caracterização dos sujeitos de pesquisa e da avaliação dos mesmos sobre o uso de diagrama V e mapas conceituais como instrumentos avaliativos.

3.7.1 Metodologia de análise das questões de levantamento de concepções

As concepções dos alunos sobre os subsunçores foram levantadas a partir da produção textual dos mesmos, às questões avaliativas propostas em provas sobre o conteúdo de estrutura eletrônica dos átomos e das propriedades periódicas. O levantamento das concepções sobre ligações químicas ocorreu por meio de uma questão aberta proposta pelo pesquisador. A análise das respostas a essas questões ocorreu segundo a classificação em categorias de análise e, em alguns casos, em subcategorias.

Segundo Franco (2008), a categorização consiste em um processo de classificação dos elementos que constituem um dado conjunto. Essa classificação se dá por diferenciação, seguida de um reagrupamento baseado em analogias, por meio de critérios definidos. Ainda de acordo com o autor, a definição de categorias requer em muitos momentos constantes idas e vindas da teoria, ao material de análise, do material de análise à teoria, de modo que podem surgir várias versões do sistema categórico.

A categorização proposta para a análise das concepções dos alunos seguiu o método de categorias não definidas a priori, isto é, as categorias surgiram da “fala”, do discurso, do conteúdo das respostas e implicaram sucessivas idas e vindas da matéria de análise à teoria. Franco (2008) salienta que nesse tipo de categorização, as categorias são criadas à medida que aparecem nas respostas e, posteriormente, são interpretadas e explicadas à luz das teorias.

As categorias de análise elaboradas para levantamento das concepções referentes aos conteúdos da área da ciência Química avaliados estão descritos nos subtítulos seguintes.

3.7.1.1 Estrutura eletrônica dos átomos

O levantamento das concepções dos alunos sobre a estrutura eletrônica dos átomos ocorreu a partir das seguintes questões:

Questão 2) O que é o princípio da Incerteza de Heisenberg? Explique qual a relação entre este princípio, fóton e o modelo de átomo moderno. (Prova 1)

Questão 4) Desenhe (em quantas partes forem necessárias) como você imagina que seja o átomo moderno. (Prova Suplementar)

A partir das respostas a tais questões, buscaram-se obter informações referentes ao entendimento dos alunos sobre o modelo atômico moderno (quantomecânico), quanto às ideias de núcleo, eletrosfera, partículas constituintes, nuvem eletrônica, orbitais e forma dos orbitais. Para isso, elaboraram-se quatro categorias de análise, como aquelas descritas a seguir. Observou-se, entretanto, que algumas respostas apresentavam elementos bem específicos, de modo que se optou por discuti-los na Tabela 7 (p.105) apresentada no Estudo inicial.

As categorias de análise elaboradas foram as seguintes:

I – Modelo Quantomecânico: Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a representação do átomo (questão 4 da prova suplementar) é coerente com o modelo descritivo (questão 2 da prova 1) e ambos estão de acordo com o modelo aceito cientificamente para o átomo moderno. Nesse caso, os alunos representaram o átomo com seus respectivos orbitais, respeitando a forma, o tamanho e a energia dos mesmos.

II – Modelo Quantomecânico Incompleto: Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a representação do átomo (questão 4 da prova suplementar) apresenta algumas das características do modelo atômico quantomecânico. A descrição do modelo teórico (questão 2 da prova 1) está de acordo com aquele aceito cientificamente. A representação, entretanto, se dá de forma incompleta: os orbitais são representados de forma isolada e a relação entre os números quânticos e os orbitais não ficou clara.

III – Modelo Misto: Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a representação do átomo (questão 4 da prova suplementar) e/ou do modelo descritivo (questão 2 da prova 1) apresenta algumas características do modelo moderno e de outros modelos, como o de Bohr e Rutherford. Nesse caso, percebe-se que há uma confusão entre os conceitos de órbita e orbital.

IV – Modelo Descontextualizado: Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a representação do átomo (questão 4 da prova suplementar) e o modelo descritivo (questão 2 da prova 1) são incoerentes com qualquer um dos modelos atômicos propostos pelos cientistas. Nesse caso, os modelos propostos para o átomo assemelham-se a uma célula ou são compreendidos como um espectro de radiação eletromagnética.

3.7.1.2 Propriedades periódicas

As concepções dos alunos referentes às propriedades periódicas foram levantadas a partir da seguinte questão:

Questão 1) Descreva o que é energia de ionização e eletronegatividade. Explique com base na configuração eletrônica, qual a relação entre essas propriedades periódicas e o tamanho do átomo. (Prova 2)

Para responder à questão acima, os alunos precisaram definir o que é eletronegatividade e energia de ionização e relacionar estas propriedades periódicas com o raio atômico. Desse modo, optou-se por dividir a questão em três partes:

- a) definição de eletronegatividade;
- b) definição de energia de ionização;
- c) relação da energia de ionização e de eletronegatividade com o raio atômico.

Para cada uma dessas respostas referentes aos tópicos acima, foram propostas categorias de análise, conforme descrito a seguir.

1- Energia de Ionização

I – Conceção científica

Nessa categoria, enquadram-se as respostas que mais se aproximam da definição científica de energia de ionização. Atkins e Jones (2006) definem energia de ionização como “[...] a energia necessária para remover um elétron de um átomo na fase gás” (p.150).

II – Conceção alternativa

A – Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a energia de ionização é entendida como uma tendência que os átomos têm de perder elétrons ou de formarem cátions.

B – Nessa categoria enquadram-se as repostas em que a energia de ionização é entendida como uma força ou energia que mantém os elétrons no átomo.

C – Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a energia de ionização é entendida como a energia necessária para formar cátion e ânion.

D – Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a energia de ionização é entendida como a energia necessária para retirar um íon do composto iônico em um íon gasoso.

E – Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a energia de ionização é entendida como um estado no qual o elétron já se encontra em um nível bem ionizado.

F – Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a energia de ionização é entendida como a energia necessária para separar íons.

III – Sem resposta

Nessa categoria, enquadram-se as respostas em branco.

2- Eletronegatividade

I – Concepção científica

Nessa categoria, enquadram-se as respostas que mais se aproximam da definição científica de eletronegatividade. Segundo Lopes (1996), a eletronegatividade de um elemento consiste no “[...] seu poder de atrair elétrons quando é parte de um composto”. Para Lee (2006), a eletronegatividade é a capacidade de um átomo de atrair elétrons em sua direção quando combinado, formando um composto.

II – Concepção alternativa

A – Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a eletronegatividade é entendida como a tendência que os átomos possuem de receber elétrons.

B – Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a eletronegatividade é entendida como a tendência do átomo em perder elétrons.

C – Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a eletronegatividade é entendida como a capacidade que os elétrons têm de se unirem.

D – Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a eletronegatividade é entendida como a tendência negativa que um átomo tem para doar elétrons.

E – Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a eletronegatividade é um estado caracterizado quando o elétron se encontra com negatividade baixa.

III – Sem resposta

Nessa categoria, enquadram-se as respostas em branco.

3- Relação da energia de ionização e da eletronegatividade com o raio atômico

I – Concepção científica

Nessa categoria, enquadram-se as respostas que mais se aproximaram daquela aceita cientificamente. A eletronegatividade de um átomo está intimamente relacionada com o seu raio atômico, uma vez que quanto menor for o raio atômico, maior será a força exercida pelo núcleo sobre os elétrons externos. Entre o raio do átomo e sua eletropositividade, também existe uma relação genérica, visto que quanto maior o raio atômico, menor será a atração exercida pelo núcleo sobre os elétrons mais externos, portanto, mais facilmente estes elétrons serão atraídos pelo núcleo do outro átomo, no composto.

II – Concepção alternativa

A – Quanto maior o raio atômico, mais afastados os elétrons externos estarão do núcleo e, conseqüentemente, mais difícil será sua remoção. Assim, maior será a energia de ionização e a eletronegatividade.

B – Quanto maior o raio atômico, mais afastados os elétrons externos estarão do núcleo e, conseqüentemente, mais difícil será sua remoção. Assim, menor será a energia de ionização e a eletronegatividade.

III – Sem resposta

Nessa categoria, enquadram-se as respostas em branco.

3.7.1.3 Ligação química

O levantamento das concepções dos alunos sobre as ligações químicas se deu a partir da seguinte questão:

“Quais são os fatores que determinam a ocorrência das ligações químicas?”.

Com a questão acima, buscou-se obter informações sobre o entendimento dos estudantes referente à estabilidade das ligações químicas. Para isso, foram elaboradas as seguintes categorias de análise:

I- Concepção antropomórfica

Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que aparecem aspectos antropomórficos, isto é, observa-se a imputação de atributos humanos ao que não é humano. Desse modo, as respostas revelam que a ligação química entre os átomos é decorrente do cooperativismo entre os mesmos, ou da “vontade” de se unirem mediante o ganho ou a perda de elétrons, como ressaltado por Mortimer e Duarte (1994).

II- Concepção da regra do octeto

Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a explicação para a ocorrência e estabilidade das ligações químicas é fundamentada na regra do octeto. Segundo Mortimer e Duarte (1994) de acordo com esta regra, os átomos combinam-se para atingirem o mesmo número de elétrons dos gases nobres, isto é, para atingirem uma configuração com oito elétrons na camada mais externa.

III- Concepção da determinação periódica

Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a ocorrência das ligações químicas é determinada pelas propriedades periódicas dos elementos químicos.

IV- Concepção da estabilidade energética

Nessa categoria, enquadram-se as respostas em que a explicação para a ocorrência da ligação química está associada à obtenção de um arranjo com energia menor do que a energia total dos átomos separados (ATKINS e JONES, 2006).

V- Sem resposta

Nesta categoria, enquadram-se as respostas em branco.

3.7.2 Metodologia de análise dos mapas conceituais e do diagrama V modificado

A definição da metodologia utilizada na análise dos mapas conceituais e diagramas V modificados ocorreu durante o estudo inicial. Foram propostas duas metodologias para a análise dos mapas e uma para os diagramas V modificados. Quanto às metodologias de análise dos mapas conceituais, vale ressaltar que se buscou com as mesmas extrair informações sobre a estrutura e o conhecimento. Contudo, para a análise dos mapas referentes ao “Vê” modificado, optou-se por uma metodologia em que fosse atribuída aos critérios de análise, uma pontuação, de modo a se obter uma escala numérica para o elemento conceitos.

A elaboração do primeiro mapa conceitual, no estudo inicial, visou identificar a compreensão dos alunos quanto à elaboração deste instrumento. Desse modo, a análise versou sobre os seguintes critérios: conceitos; palavras de ligação; proposições válidas; hierarquia e estrutura do mapa. Tais critérios foram propostos com base na metodologia de análise sugerida por Ruiz-Moreno, et al. (2007). Os parâmetros de cada critério encontram-se descritos na Tabela 3.

Tabela 3- Critério de análise do mapa conceitual referente ao artigo científico intitulado “Reações químicas: fenômeno, transformação e representação”

Categorias	Descrição dos parâmetros
Conceitos	Os conceitos estão relacionados com o tema do mapa proposto.
Palavras de ligação	Os conceitos são conectados por palavras de ligação.
Proposições válidas	As proposições apresentam significado, do ponto de vista semântico e químico.
Hierarquização	Há níveis de hierarquia conceitual, explicitando desde os conceitos mais amplos até os mais específicos, podendo incluir exemplos.
Estrutura	Há relações cruzadas (ou seja, relações não hierárquicas entre segmentos distantes do mapa).

Fonte: do autor.

Atribui-se, para cada um dos critérios descritos na Tabela 3 os conceitos S (Suficiente) ou I (Insuficiente). Para os mapas cujos parâmetros sugeridos foram satisfeitos, atribuiu-se o conceito S e, para aqueles cujos parâmetros não foram satisfeitos, atribuiu-se o conceito I. Vale ressaltar que a atribuição dos conceitos aos critérios de análise teve por objetivo orientar as análises interpretativas referentes à compreensão dos alunos quanto à elaboração dos mapas conceituais, isto é, buscaram-se evidências do entendimento dos alunos, sobre os elementos conceitos, palavras de ligação, proposições, hierarquias e estruturação dos mapas.

O segundo mapa conceitual elaborado foi parte integrante do diagrama V, referente à atividade prática intitulada “Construção da curva de solubilidade do nitrato de potássio”. A metodologia de análise dos diagramas V teve por base aquela proposta por Novak e Gowin (1984) e Gowin e Alvarez (2005), considerando-se as alterações realizadas pelo pesquisador e da natureza das construções apresentadas pelos alunos, buscando assim, não penalizar aquelas em que se evidenciaram erros conceituais. Os critérios de análise para cada um dos elementos do “Vê” estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4- Critérios de análise dos Diagramas V

(continua)

Elementos do “Vê”	Pontuação
Questão-foco	0,5
Não se identifica uma questão-foco.	0
Uma ou mais questões-foco são identificadas. Contudo, estas não se referem aos objetos e acontecimentos estudados, ou não fazem referência ao lado conceitual do Vê.	0,25
Uma ou mais questões-foco estão claramente identificadas. Estas incluem os conceitos-chave envolvidos na investigação e fazem sugestões quanto aos objetos e acontecimentos estudados.	0,5
Objetos e acontecimentos	0,5
Não se identificam objetos e/ou acontecimentos.	0

Fonte: do autor.

Tabela 4- Critérios de análise dos Diagramas V

(continuação)

Elementos do “Vê”	Pontuação
Objetos e acontecimentos	0,5
Objetos e acontecimentos são identificados. Contudo, não se referem à questão-foco.	0,15
Os objetos e acontecimentos identificados referem-se à questão-foco. Entretanto, a descrição dos mesmos apresenta erros conceituais.	0,25
Os objetos e acontecimentos identificados referem-se à questão-foco e suas descrições não apresentam erros conceituais.	0,5
Conceitos*	1,5
Os conceitos relacionados com a questão-foco e com os objetos/acontecimentos não são identificados.	0
Os conceitos relacionados com a questão-foco e com os objetos/acontecimentos são identificados.	0,5-1,5
Teoria	0,5
Uma teoria não é identificada.	0
Uma teoria é identificada. Contudo, não se relaciona com o lado esquerdo do Vê e com a questão-foco. Sendo assim, não descreve acontecimentos e afirmações acerca dos objetos estudados.	0,15
Uma teoria é identificada e descreve acontecimentos e afirmações acerca dos objetos estudados. Contudo, observam-se erros conceituais.	0,25
Uma teoria é identificada e descreve acontecimentos e afirmações acerca dos objetos estudados. Erros conceituais não são identificados.	0,5
Modelo	1,0
Um modelo não é identificado.	0
Um modelo é identificado. Contudo, não é consistente com a teoria proposta ou não explica satisfatoriamente os objetos e acontecimentos estudados.	0,25
Um modelo é identificado e é consistente com a teoria proposta e capaz de explicar satisfatoriamente os acontecimentos e objetos estudados. Contudo, observam-se erros conceituais em sua descrição.	0,5
Um modelo é identificado e é consistente com a teoria proposta. Sendo assim, é capaz de explicar satisfatoriamente os acontecimentos e objetos estudados. Erros conceituais não são observados em sua descrição.	1,0
Princípios	1,0
Nenhum princípio é identificado.	0
Princípios são identificados. Contudo, não são suficientes para guiar a compreensão da ação significativa que ocorrem nos acontecimentos e nos objetos estudados.	0,25
Princípios são identificados e são suficientes para guiar a compreensão da ação significativa que ocorrem nos acontecimentos e objetos estudados. Contudo, consistem em afirmações com erros conceituais.	0,5
Princípios são identificados e são suficientes para guiar a compreensão da ação significativa que ocorrem nos acontecimentos e objetos estudados. Erros conceituais não são observados.	1,0
Registros	0,5
Nenhum registro é identificado.	0
Registros são identificados. Contudo são inconsistentes com a questão-foco ou com o acontecimento principal ou são insuficientes para a elaboração das transformações.	0,15
Registros são identificados para o acontecimento principal. Contudo, observam-se erros conceituais em sua descrição.	0,35
Registros são identificados e são condizentes com o acontecimento principal e a questão-foco. Erros conceituais não são identificados.	0,5
Transformações	0,5
Nenhuma transformação é identificada.	0
Transformações são identificadas. Contudo, não são condizentes com a questão-foco ou não se relacionam com os registros.	0,20
Transformações são identificadas e são condizentes com a questão-foco. Contudo, observam-se erros conceituais em sua descrição.	0,35

Fonte: do autor.

Nota: *A pontuação atribuída ao elemento conceito será definida segundo os valores obtidos com a análise dos critérios estabelecidos na Tabela 5.

Tabela 4- Critérios de análise dos Diagramas V

(conclusão)

Elementos do “Vê”	Pontuação
Transformações	0,5
Transformações são identificadas e são condizentes com a questão-foco. Sendo assim, permitem construir os juízos cognitivos. Erros conceituais não são observados.	0,5
Representação	1,5
Nenhuma representação é identificada.	0
Uma representação referente aos objetos/acontecimento estudados é identificada. Contudo, é inconsistente com a teoria e o modelo descrito no lado esquerdo do “Vê”.	0,25
Uma representação referente aos objetos/acontecimentos estudados é identificada. Contudo, não os explicam satisfatoriamente.	0,5
Uma representação referente aos objetos/acontecimento estudados é identificada. Tal representação é consistente com a teoria e o modelo esperados. Contudo, estes não foram identificados no lado esquerdo do “Vê”.	1,0
Uma representação referente aos objetos/acontecimento estudados é identificada. Tal representação é consistente com a teoria e o modelo descrito no lado esquerdo do “Vê”. Contudo, observam-se erros conceituais em sua descrição.	1,5
Uma representação referente aos objetos/acontecimento estudados é identificada. Tal representação é consistente com a teoria e o modelo descrito no lado esquerdo do “Vê”. Erros conceituais não são identificados.	
Juízos cognitivos	1,5
Nenhum juízo cognitivo é identificado.	0
Juízos cognitivos são identificados. Contudo, não respondem às questões-foco.	0,25
Juízos cognitivos são identificados e respondem às questões-foco total ou parcialmente, podendo incluir um conceito utilizado em um contexto impróprio levando a erros conceituais ou se trata de uma generalização que é inconsistente com os registros e com as transformações.	0,5
Juízos cognitivos que respondem às questões-foco são identificados. Contudo, não estão relacionados com o lado esquerdo do “Vê”. Sendo assim, sua elaboração está baseada apenas nos registros e nas transformações.	1,0
Juízos cognitivos que respondem às questões-foco total ou parcial são identificados. Tais juízos incluem os conceitos-chave e são construídos com base no lado esquerdo do “Vê”, nos registros e nas transformações. Contudo, observam-se erros conceituais em sua descrição.	1,25
Juízos cognitivos que respondem às questões-foco são identificados. Tais juízos incluem os conceitos-chave e são construídos com base no lado esquerdo do “Vê”, nos registros e nas transformações. Erros conceituais não são identificados.	1,5
Juízos de valor	1
Nenhum juízo de valor é identificado.	0
Juízos de valor são identificados. Contudo, não se referem a uma interpretação dos resultados e conclusões obtidos na investigação.	0,25
Juízos de valor são identificados. Tais juízos consistem em interpretações dos resultados e conclusões obtidos na investigação. Contudo, observam-se erros conceituais em sua descrição.	0,5
Juízos de valor são identificados. Tais juízos consistem em interpretações dos resultados e conclusões obtidos na investigação. Erros conceituais não são observados.	1,0

Fonte: do autor.

Para cada um dos elementos descritos na Tabela 4, foi atribuída uma pontuação, cujos valores variavam entre 0,5, 1,0 e 1,5. A um único “Vê”, pode-se atribuir um valor final máximo de 10 pontos. Entretanto, valores menores do que este podem aparecer em decorrência da satisfação ou não dos critérios estabelecidos para cada um de seus elementos.

A pontuação proposta para os diferentes elementos do “Vê” se deu com base na relevância dos mesmos para a avaliação da aprendizagem e segundo o grau de atividade

cognitiva exigida para sua elaboração. Devido a esses motivos, atribuiu-se aos elementos conceitos, à representação e aos juízos cognitivos, a maior pontuação, uma vez que a construção destes requer que os alunos identifiquem e representem de forma sintética as relações existentes entre os conceitos e as proposições aprendidos.

Para a elaboração do elemento conceitos, além da necessidade de identificar os conceitos referentes às questões-foco e aos objetos/acontecimentos investigados, os alunos precisaram estabelecer relações significativas entre estes conceitos e àqueles relacionados aos “Vês” anteriores, na forma de um mapa conceitual. A elaboração da representação exigiu uma interpretação do modelo teórico descrito no elemento modelo. Para isso, foi necessária a compreensão dos conceitos e proposições que exibem os significados dos objetos/acontecimentos estudados. A construção dos juízos cognitivos resultou do estabelecimento de relações entre os aspectos teóricos e metodológicos, a fim de responder às questões-foco.

As menores pontuações foram atribuídas aos elementos questão-foco, objetos/acontecimentos, registros e transformações. As questões-foco foram fornecidas no texto-base, cabendo aos alunos apenas identificá-las. Os registros foram obtidos de anotações do caderno de laboratório ou estavam disponíveis no texto-base. Quanto ao elemento transformação, coube aos alunos proporem apenas uma organização dos dados em tabelas, gráficos e outros.

Moreira (2006) relata que os mapas conceituais e os diagramas V são instrumentos que fornecem dados essencialmente qualitativos. Isso não significa, contudo, que não se possa atribuir pontuação aos mesmos. Esta pode ser utilizada desde que esteja fundamentada nos princípios da aprendizagem significativa (NOVAK, 1984). Segundo Luckesi (2011), a aferição da aprendizagem inicia-se pela medida do aproveitamento escolar, a partir do uso de instrumentos avaliativos. Posteriormente, a medida é transformada em nota ou conceito e, por fim, serve de base para a tomada de decisão. Desse modo, ainda que se trabalhe com “notas”, a avaliação não deixará de ser qualitativa.

A pontuação do elemento conceito foi baseada nos dados obtidos com a análise dos mapas conceituais, podendo variar entre 0,5, 1,0, 1,5 e valores intermediários a estes, conforme descrito na Tabela 5. Na análise dos mapas, consideraram-se alguns critérios, como validade e significado das proposições; níveis de hierarquia e ligações cruzadas. A partir desses critérios, podem-se obter informações sobre a aprendizagem conceitual dos alunos, no que se refere aos princípios de diferenciação progressiva e de reconciliação integrativa e na identificação de concepções alternativas.

A metodologia utilizada para a análise dos mapas e para o estabelecimento das pontuações baseou-se naquela proposta por Belmonte (2007), salvo algumas modificações em decorrência de adequação ao “Vê”. Os critérios considerados na análise foram: conceitos; palavras de ligação; proposições; hierarquias; segmentos e base do mapa; ligações cruzadas e exemplos. Os pontos atribuídos a cada um desses critérios estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5- Critérios de análise dos mapas conceituais

Critérios de análise	*Pontuação
Conceitos	
Conceitos corretos	X
Conceitos incorretos	y
Conceitos ausentes	z
	$x-(y+z)\times 1$
Palavras de ligação (distintas)	
Palavra de ligação correta	X
Palavra de ligação incorreta	y
	$(x-y)\times 3$
Proposições	
Proposição correta	X
Proposição incorreta	y
	$(x-y)\times 1$
Hierarquias	
Hierarquias corretas	X
Hierarquias incorretas	y
	$(x-y)\times 5$
Segmentos do mapa (1º nível hierárquico) e base	
Segmento e base corretos	X
Segmento e base incorretos	y
	$(x-y)\times 5$
Ligações cruzadas	
Ligações cruzadas corretas	X
Ligações Cruzadas incorretas	y
	$(x-y)\times 10$
Exemplos	
Exemplos corretos	X
Exemplos incorretos	y
	$(x-y)\times 1$

Fonte: do autor.

Nota: * As letras x, y e z indicam, respectivamente, o número de cada critério que está correto, incorreto e ausente.

A pontuação final do mapa consistiu na soma dos pontos atribuídos a cada um dos critérios. A avaliação final levou, contudo, em consideração a qualidade dos mapas, fornecida pelo índice de qualidade Q . Este consiste em um valor de atribuição subjetiva do professor que inclui todos os fatores que não foram quantizados. O valor atribuído ao fator Q geralmente é 1 e pode variar em casos de se ter mapas muito bons (1,5) ou mapas muito ruins (0,5). Em casos de ocorrência intermediária positiva, podem-se atribuir valores entre 1 e 1,5 e em ocorrência intermediárias negativas, valores entre 1,0 e 0,5 (BELMONTE, 2007).

Os critérios de análise dos mapas provavelmente não apresentarão os mesmos valores de pontuação. Essa variação, segundo Novak e Gowin (1984) e Belmonte (2007), está relacionada com a maior ou menor incidência que os referidos critérios exercem sobre a qualidade da estrutura conceitual subjacente ao mapa conceitual. Assim, alguns contribuirão mais para a pontuação total do mapa e outros, menos. Desse modo, pode-se comunicar aos alunos sobre os aspectos que eles alcançaram e aqueles que eles ainda precisam melhorar.

Mapas conceituais de diferentes temas apresentarão pontuações também diferentes. Isso provavelmente dificulta a determinação da qualidade dos mapas avaliados. Uma solução para isso foi proposta por Belmonte (2007). O autor propõe um “padrão de pontuação” que possibilita transformar os valores encontrados na qualidade dos mapas. Para isso, faz-se necessário conhecer a média da pontuação de todos os mapas sobre um dado tema e seus desvios padrões.

Para a elaboração do “padrão de pontuação”, consideraram-se as seguintes qualidades: abaixo da média; média e acima da média. A cada uma dessas qualidades, atribuíram-se as pontuações finais 0,5, 1,0 e 1,5, respectivamente. A Tabela 6 apresenta os intervalos de valores dos mapas que se referem a cada uma dessas pontuações.

Tabela 6- Nota dos mapas conceituais, segundo a distribuição da pontuação em torno da média

$\bar{x} - 2\sigma$	$\bar{x} - \sigma$	\bar{x}	$\bar{x} + \sigma$	$\bar{x} + 2\sigma$
Abaixo da média		Média	Acima da média	
0,5	0,75	1,0	1,25	1,5

Fonte: do autor.

Para encontrar os valores dos intervalos estipulados na Tabela 6, para a pontuação dos mapas, utilizaram-se as Equações (1) e (2).

Equação 1- Fórmula estatística do Desvio padrão da amostra

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Equação 2- Fórmula estatística da Média aritmética

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

A Equação 1 consiste na média aritmética que, neste caso, foi definida como a soma dos valores (x_i) de todos os mapas conceituais, dividida pela quantidade de mapas analisados (n). E o grau de dispersão dos dados de uma amostra em torno da média amostral que, nesse

caso, consistiu na dispersão dos valores da cada mapa, analisado em torno do valor médio, fornecido pela equação 2 (equação do desvio padrão).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os dados coletados nas disciplinas de Química Geral e Química Inorgânica I, referentes ao estudo inicial e final, respectivamente. O estudo inicial caracterizou-se pela inserção do pesquisador no contexto da pesquisa com a finalidade de obter informações das concepções dos alunos sobre os subsunçores necessários à aprendizagem de ligações químicas. Além disso, buscou-se também apresentar e instruir os sujeitos de pesquisa na elaboração dos mapas conceituais e diagramas em Vê.

No estudo final, buscou-se aplicar uma sequência de diagramas V, como instrumentos para a avaliação da aprendizagem dos sujeitos de pesquisa sobre ligações químicas. A partir da análise desses diagramas e da identificação das relações estabelecidas entre o conteúdo de ligações químicas e seus subsunçores, podem-se obter informações qualitativas sobre a aprendizagem dos alunos, tendo como base o referencial teórico que fundamentou esta pesquisa.

4.1 ESTUDO INICIAL

Primeiramente, serão apresentados os dados relativos ao levantamento de concepções dos alunos sobre a estrutura da matéria e das propriedades periódicas. Por último, serão expostos alguns apontamentos sobre o entendimento dos sujeitos de pesquisa quanto à elaboração de diagrama V e de mapa conceitual, bem como quanto às potencialidades associadas ao uso destes como instrumentos avaliativos.

4.1.1 Levantamento das concepções dos alunos sobre estrutura da matéria e propriedades periódicas

O levantamento das concepções dos alunos, referentes à estrutura da matéria e às propriedades periódicas fez-se relevante uma vez que o entendimento da estrutura eletrônica dos átomos e de suas propriedades periódicas é fundamental para a compreensão das ligações químicas, constituindo-se assim nos subsunçores necessários à aprendizagem destas. Buscou-

se fazer tal levantamento, a partir de questões propostas em provas da disciplina de Química Geral, pois tais conhecimentos foram construídos durante a realização da mesma, para que na disciplina de Química Inorgânica, fossem utilizados como “âncora” para a aprendizagem de ligações químicas. Contudo, na disciplina de Química Inorgânica I, os conhecimentos relevantes para a aprendizagem desse conteúdo da área da ciência química, foram também avaliados com a elaboração do primeiro Vê modificado da sequência, podendo assim identificar possíveis mudanças na aprendizagem dos alunos.

De acordo com Duarte (2001), a ligação química resulta da interação entre dois ou mais átomos, acompanhada do rearranjo da estrutura eletrônica dos mesmos, na qual seus elétrons são reorganizados dentro da nova estrutura. Quanto às propriedades periódicas, o autor destaca que a energia de ionização (EI) e a afinidade eletrônica (AE) podem contribuir para a explicação da natureza das ligações químicas.

A busca pela compreensão da estrutura da matéria iniciou-se com os antigos Gregos e estendeu-se até o século XX, com o desenvolvimento da mecânica quântica. As primeiras indagações referentes à composição da matéria foram apresentadas pelos Gregos, na antiga Grécia. Contudo, não ultrapassaram o plano das ideias, configurando-se como meras especulações filosóficas.

A proposição de teorias, fundamentadas em dados experimentais, tornou-se evidente a partir dos trabalhos de John Dalton (1766-1844), que apresentavam forte influência do pensamento corpuscular de Newton, bastante divulgado no final do século XVIII e início do século XIX. A partir daí, outras teorias atômicas e modelos foram sendo propostos para os átomos; dentre eles, destacaram-se aqueles elaborados por Thompson (1856- 1940), Rutherford (1871-1937), Bohr (1875-1962) e Schrödinger (1887-1961). Tais modelos foram se aperfeiçoando à medida que novas descobertas científicas foram surgindo, como a radiação eletromagnética e a espectroscopia eletrônica, permitindo-se, assim, uma nova interpretação para a estrutura da matéria.

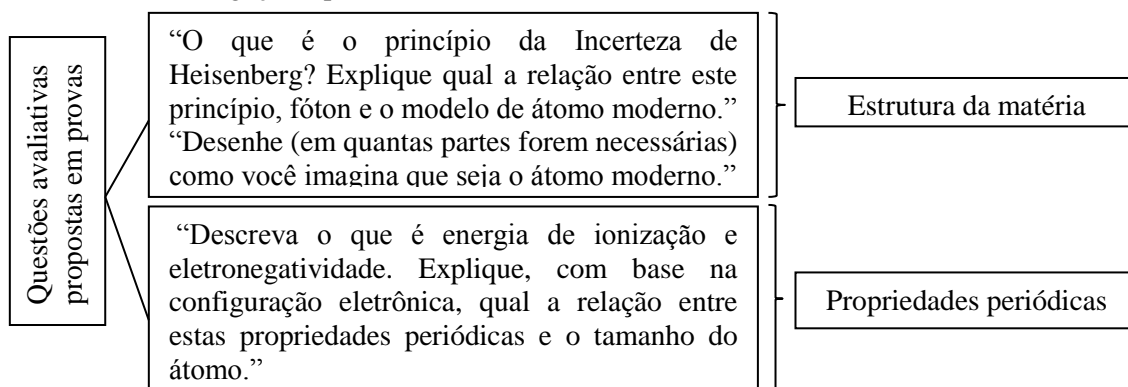
Diante da diversidade de modelos para interpretação da estrutura atômica, qual é o mais indicado para a abordagem das ligações químicas? Segundo Chassot (1996), o modelo atômico proposto por Bohr é razoavelmente adequado para explicar a ligação iônica, pois permite compreender como ocorre a formação de cátions e ânions e o tipo de interação entre as espécies químicas, no retículo cristalino. Somando-se a isso, se pode destacar que a compreensão da formação de íons está atrelada ao entendimento dos conceitos de energia de ionização e de afinidades eletrônica.

O modelo de Bohr apresenta algumas limitações que o impossibilitam de explicar as ligações covalentes como, por exemplo, a formação de moléculas simples que constituem a substância hidrogênio ($H_{2(g)}$). Para explicar tais ligações, é preciso compreender o conceito de orbital, que é ausente no modelo de Bohr, entretanto está presente no modelo atômico quântico, proposto com o desenvolvimento da mecânica quântica. Além do mais, faz-se importante compreender o conceito de eletronegatividade, uma vez que este permite prever sobre a polaridade das moléculas.

Com o advento da mecânica quântica no século XIX e com a resolução das equações de Schrödinger, muitos dos fenômenos não explicados pela mecânica clássica puderam ser interpretados. As evidências experimentais da época apontavam para a natureza dual dos elétrons (partícula-onda) e para a quantização da energia (fóton). Isso permitiu uma compreensão maior da relação entre as propriedades químicas dos elementos e a sua estrutura atômica. A estrutura eletrônica de camadas do átomo, proposta por Bohr, e a energia e forma dos orbitais permitiram explicar, respectivamente, as propriedades periódicas e as ligações químicas (DUARTE, 2001).

Diante do exposto, torna-se evidente a relevância dos conteúdos de estrutura da matéria e das propriedades periódicas, para a compreensão das ligações químicas, por isso estes conhecimentos foram levantados a partir de questões avaliativas propostas em provas da disciplina de Química Geral, descritas no esquema da Figura 13. A análise das respostas a essas questões serão apresentadas nos subtítulos a seguir.

Figura 13- Questões avaliativas extraídas de provas aplicadas na disciplina de Química Geral, utilizadas no levantamento dos subsunçores necessários à aprendizagem de ligações químicas.



Fonte: do autor.

4.1.1.1 Concepções dos alunos sobre estrutura da matéria

As concepções sobre a estrutura da matéria pautou-se na descrição do modelo teórico e a representação pictórica do átomo moderno, propostas pelos alunos. Tais informações foram obtidas respectivamente pelas seguintes questões:

1) “O que é o princípio da Incerteza de Heisenberg? Explique qual a relação entre este princípio, fóton e o modelo de átomo moderno.”;

2) “Desenhe (em quantas partes forem necessárias) como você imagina que seja o átomo moderno.”.

A classificação das respostas dos alunos, segundo as categorias de análise estabelecidas no Capítulo 3, subtítulo “Estrutura eletrônica dos átomos” (p.91) e as concepções alternativas que os mesmos apresentaram para o modelo atômico moderno, estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7- Classificação das respostas dos alunos em categorias de análise e concepções alternativas sobre o modelo atômico moderno

(Continua)

Aluno	Modelo proposto para o átomo moderno	Concepções alternativas
A	II – Modelo Quantomecânico Incompleto	Os orbitais são tratados como órbitas circulares. Número quântico principal indica em que orbital os elétrons se encontram.
B	IV – Modelo Descontextualizado	O átomo é concebido como um espectro de radiação eletromagnética concentrado na faixa da luz visível. Os elétrons distribuem-se em diferentes frequências e aqueles que se encontram mais próximos do núcleo têm uma intensidade maior (comprimento de onda maior).
C	III – Modelo Misto	Os elétrons são partículas que podem ser encontradas em uma determinada faixa de onda, giram em órbita do núcleo e podem mudar constantemente de níveis de energia. O núcleo é composto em sua maior parte por prótons, ou seja, por isso ele é positivo. Tem-se a ideia de que os nêutrons anulam os prótons. O átomo possui camadas e subníveis, porém são entendidos como entes físicos diferentes, ou seja, os subníveis encontram-se próximos das camadas, portanto não as constituem.
D	III – Modelo Misto	Os elétrons são tratados como átomos e podem mudar constantemente de níveis de energia. Não se pode determinar a posição do átomo, pois ele é uma partícula-onda. Os orbitais são tratados como órbitas circulares. Apenas os elétrons de camadas fechadas (configuração de gás nobre) são blindados e afetados pela carga nuclear efetiva.

Fonte: do autor.

Tabela 7- Classificação das respostas dos alunos em categorias de análise e concepções alternativas sobre o modelo atômico moderno

(Continuação)

Aluno	Modelo proposto para o átomo moderno	Concepções alternativas
D	III – Modelo Misto	Os elétrons da camada de valência são elétrons em excesso. Apenas os elétrons de valência podem mudar de nível.
E	III – Modelo Misto	Os prótons são rodeados pelos nêutrons e elétrons. O átomo é uma onda e uma partícula que viaja em um determina intervalo de tempo. O orbital é a eletrosfera e constituído por camadas.
F	III – Modelo Misto	Os elétrons são tratados como átomos. Os orbitais são tratados como órbitas elípticas.
G	III – Modelo Misto	O núcleo do átomo é relativamente grande em comparação ao tamanho do átomo. Os elétrons e os prótons são do mesmo tamanho, ou seja, apresentam a mesma massa. O orbital é tratado como órbita circular.
H	III – Modelo Misto	O orbital é tratado como nuvem eletrônica e como órbitas. Subníveis são tratados como níveis. À medida que a distância do elétron ao núcleo aumenta, a probabilidade de encontrá-lo diminui. A diminuição da probabilidade se dá na seguinte ordem: $f < d < p < s$. O orbital f é maior e mais energético porque está mais longe do núcleo.
I	II – Modelo Misto	Os elétrons são tratados ora como átomos ora como partículas, podendo ser positivos, negativos ou neutros e podem mudar constantemente de níveis de energia. Os orbitais (s, p, d e f) são tratados como órbitas. No núcleo encontram-se partículas positivas e negativas em mesma quantidade.
J	III – Modelo Misto	O núcleo apresenta uma energia quantizada e apresenta apenas os prótons. Orbitais são órbitas circulares e estacionárias. As órbitas são tratadas como spins.
K	III – Modelo Quântomecânico Incompleto	Os orbitais são tratados como órbitas circulares. No nível 1, encontram-se um orbital s, no nível 2 um orbital p, no nível 3 um orbital d.
L	III – Modelo Misto	Os orbitais são tratados ora como camadas ora como nuvem eletrônica. Os elétrons podem mudar constantemente de níveis de energia.
M	III – Modelo Misto	Os orbitais são tratados como órbitas elípticas. Os elétrons apresentam um tamanho maior do que os prótons e nêutrons que apresentam o mesmo tamanho. O núcleo do átomo é relativamente grande em comparação ao tamanho do átomo.

Fonte: do autor.

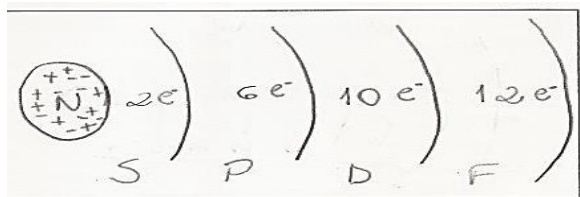
Tabela 7- Classificação das respostas dos alunos em categorias de análise e concepções alternativas sobre o modelo atômico moderno
(Conclusão)

Aluno	Modelo proposto para o átomo moderno			Concepções alternativas
N	IV	–	Modelo Descontextualizado	O átomo é entendido como uma célula, apresentando um núcleo pequeno central e uma eletrosfera em que os elétrons encontram-se espalhados. O núcleo do átomo é relativamente grande em comparação ao tamanho do átomo. As camadas apresentam determinados valores de energia que as mantêm estáveis. Os orbitais são tratados como órbitas circulares. Os elétrons giram nas camadas em velocidade constante.
O	IV	–	Modelo Descontextualizado	O átomo é entendido como uma célula, apresentando um núcleo pequeno central e uma eletrosfera em que os elétrons encontram-se espalhados.
P	IV	–	Modelo Descontextualizado	O átomo é entendido como uma célula, apresentando um núcleo central e uma eletrosfera em que os elétrons encontram-se espalhados. Os orbitais são tratados como elétrons. O núcleo é limitado pela eletrosfera e apresenta mais prótons do que nêutrons. A camada de valência envolve externamente o átomo.
Q	IV	–	Modelo Descontextualizado	O átomo é entendido como uma célula, contendo um núcleo e uma superfície limite irregular, provavelmente tratando-se da eletrosfera.
R	III	–	Modelo Misto	Os orbitais são tratados como órbitas circulares.
S	II	–	Modelo Misto	Os orbitais são tratados como órbitas elípticas e apresentando carga negativa. No núcleo encontram-se apenas prótons e é relativamente grande em comparação ao tamanho do átomo.

Fonte: do autor.

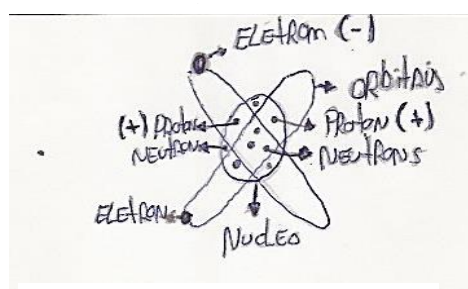
Com base nos dados fornecidos pela Tabela 7, pode-se dizer que grande parte dos alunos apresentou um “Modelo Misto” para o átomo quântomecânico. Nesse caso, o conceito de orbital foi corretamente empregado na descrição de modelo, entretanto, na representação, foi confundido com órbitas elíptica (Figura 15) ou circular (Figura 14) e, em casos mais raros, foram tratados como spin, nuvem eletrônica ou elétron.

Figura 15- Representação do modelo atômico moderno do aluno I.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

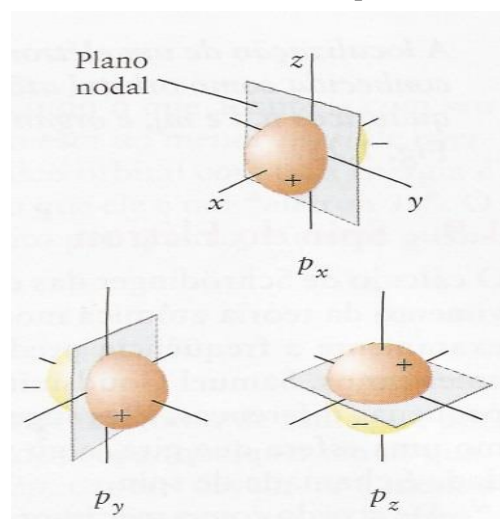
Figura 14- Representação do modelo atômico moderno do



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

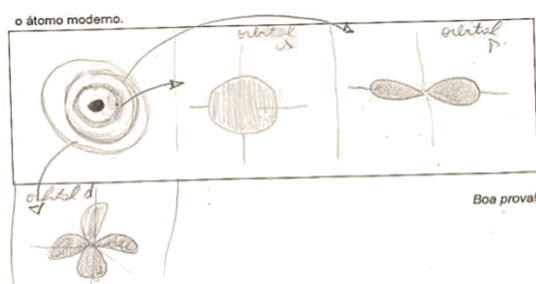
Mesmo nos casos em que os alunos representaram os orbitais, segundo suas superfícies limites, conforme previstas pelas equações de onda de Schrödinger, observou-se que o Modelo Quântico não foi alcançado, pois os orbitais foram representados de forma isolada (Figura 17), revelando que os estudantes não compreenderam a forma como estes estão distribuídos e/ou organizados no átomo. Tais representações foram semelhantes às daquelas dos livros didáticos, como a representação dos orbitais do tipo p, por exemplo, ilustrado na Figura 16. Nesses materiais, não se observou uma representação do “arranjo total” dos orbitais, como exemplificado na Figura 18, pelo contrário, os orbitais s, p, d e f, são apresentados separadamente, ao abordar o modelo atômico quântico.

Figura 16- Representação dos orbitais p. Os orbitais têm sinais opostos (destacado pela diferença progressiva de cor) de cada lado do plano nodal.



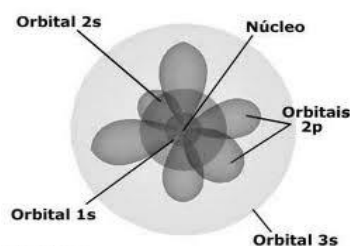
Fonte: Atkins e Jones, 2006, p. 137.

Figura 17- Representação do modelo atômico moderno do aluno K.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

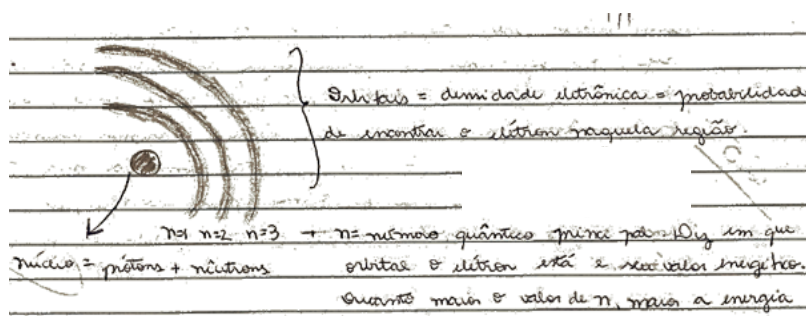
Figura 18- Representação pictórica



Fonte: <http://www.profpc.com.br>

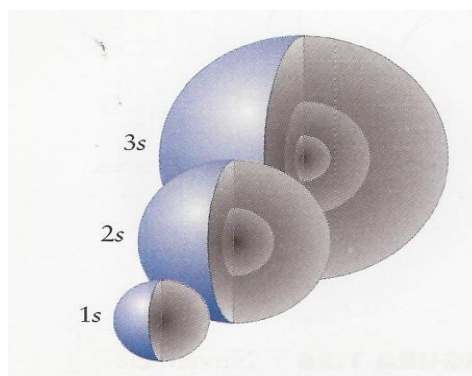
A representação do aluno K, Figura 17, foi classificada na categoria “Modelo Quântomecânico Incompleto”. Outro exemplo de representação classificada nessa categoria foi a do aluno A, Figura 19. Embora o estudante tenha estabelecido uma relação entre a energia dos orbitais e o número quântico principal, tal conhecimento não possibilitou à formação do “Modelo Quântomecânico” (Figura 18), pois no desenho elaborado pelo mesmo, observou-se apenas a representação dos orbitais do tipo s, conforme umas das representações apresentadas nos livros didáticos, Figura 20.

Figura 19 - Representação do modelo atômico moderno do aluno A.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

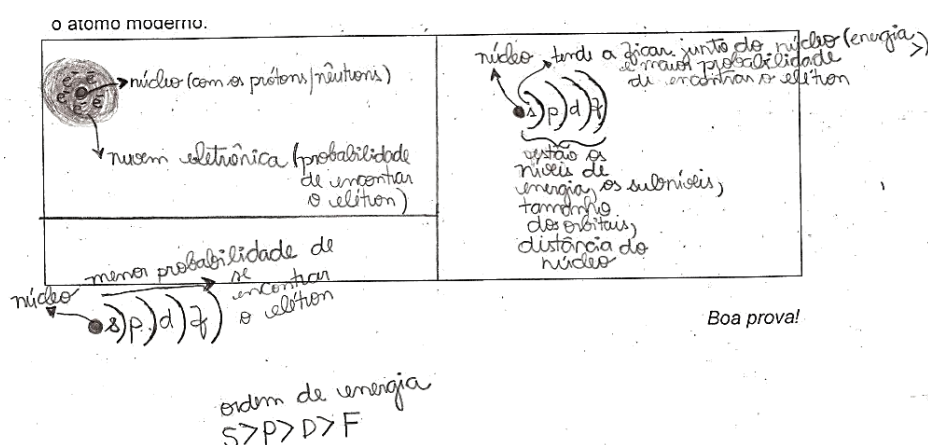
Figura 20- Representação dos três orbitais s de energia mais baixa. O sombreamento das superfícies limites é uma indicação aproximada da densidade de elétrons em cada ponto.



Fonte: Atkins e Jones, 2006, p. 136.

A partir das representações dos alunos A e K, percebeu-se que eles não compreenderam o significado do diagrama de Linus Pauling e dos números quânticos para a interpretação das informações referentes aos orbitais atômicos, como por exemplo, tamanho, energia e forma. Ao distribuir os elétrons em subníveis, esperava-se que os alunos elaborassem um modelo que representasse a organização sequencial dos orbitais, respeitando sua forma, tamanho e energia, ou seja, para $1s^2$, o modelo a ser construído deveria ser esférico; para o $2s^2$, uma esfera maior que se sobrepusesse à anterior e assim por diante, conforme o exemplo da Figura 18. A não compreensão disso pode ter contribuído para a formação de concepções alternativas a respeito do modelo atômico quântomecânico, como aquelas expressas na representação da Figura 21.

Figura 21- Representação do modelo atômico moderno do aluno H.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

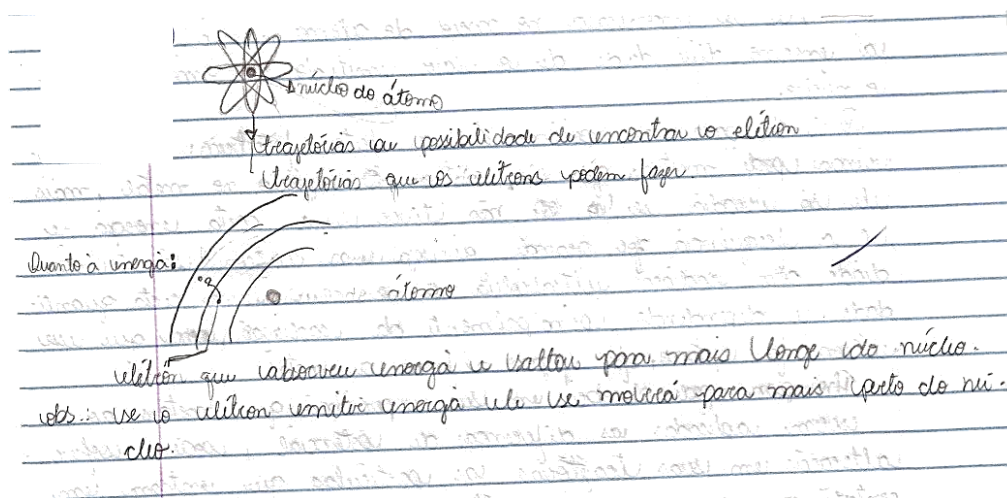
Na Figura 21, percebeu-se que o aluno representou órbitas circulares, como aquelas características do modelo de Bohr. Tais órbitas foram, contudo, identificadas com as letras s, p, d e f, isto é, com as letras que representam os orbitais atômicos propostos no modelo atômico moderno. Isso caracterizou o modelo descrito como “Misto”. Os erros conceituais apresentados pelos alunos revelaram que houve uma incompreensão quanto aos conceitos de orbital e órbita e quanto às diferenças entre os modelos atômicos de Bohr e o moderno. Outra confusão se deu em relação aos conceitos de nível e de subnível eletrônico, uma vez que o aluno demonstrou a partir de seu desenho que os níveis e subníveis se encontram distribuídos nos orbitais s, p, d e f.

De acordo com a representação do aluno H, na qual a energia dos orbitais (s, p, d e f) é definida pela distância destes ao núcleo do átomo, pode-se dizer que o orbital f seria o de menor energia, pois se encontra mais afastado do núcleo. Já na representação do aluno A,

observou-se uma relação contrária, uma vez que este considerou que, quanto mais longe o elétron estiver do núcleo, maior será a energia do orbital por ele ocupado, o que está de acordo com a literatura. A incompreensão do aluno H pode estar associada ao não entendimento do conceito de energia e de orbital, pois segundo ele, a menor probabilidade de se encontrar um elétron está relacionada a uma menor energia, sendo o inverso também verdadeiro.

O fenômeno da absorção e da emissão de energia pelos átomos, em decorrência da excitação dos mesmos, é compreendido como um processo contínuo. Este é descrito pela movimentação dos elétrons ao se aproximarem ou se distanciarem do núcleo, à medida que emitem ou absorvem energia, respectivamente. As condições para que isso ocorra, como as ideias de quantização de energia e excitação, não foram, no entanto, mencionadas, como pode ser observado na representação do aluno F, Figura 22. Desse modo, não se pode saber se o aluno compreende o porquê de a energia ser emitida ou absorvida, e qual a sua relação com a energia dos orbitais.

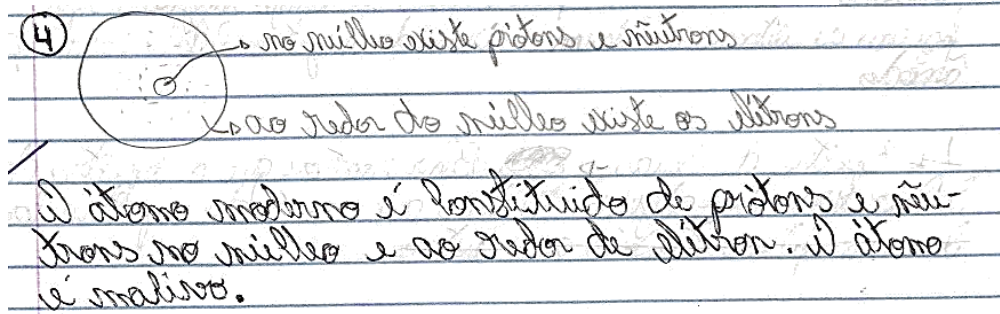
Figura 22- Representação do modelo atômico moderno do aluno F.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Outro modelo apresentado pelos alunos, para o átomo moderno, foi o “Descontextualizado”, conforme os exemplos das Figuras 23, 24 e 25. Nessas representações, os alunos desenharam o átomo de forma similar a uma célula, na qual o núcleo apresenta uma posição central e os elétrons se encontram em uma região definida e delimitada, por um “invólucro” semelhante a uma membrana celular. Isso ficou mais evidente na Figura 22, em que o “invólucro” é definido como camada de valência.

Figura 23- Representação do átomo moderno do aluno O.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 25- Representação do modelo atômico moderno do aluno P.

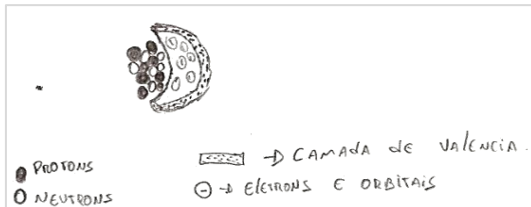
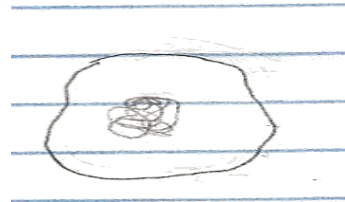


Figura 24- Representação do modelo atômico moderno do aluno Q.



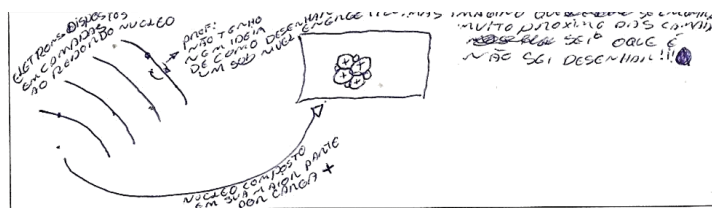
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Além das concepções envolvendo os conceitos de órbita e orbital, observaram-se outras. Embora estas tenham sido menos frequentes, apresentaram grande relevância para o delineamento do modelo que os alunos elaboraram para o átomo moderno. Dentre essas concepções, destacam-se as seguintes:

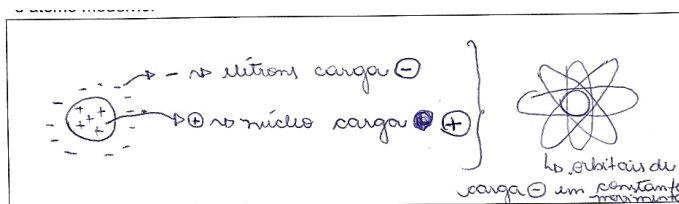
- 1) Os conceitos de átomo e de elétron são utilizados como sinônimos, ou apresentando o mesmo significado;
- 2) O núcleo apresenta mais prótons do que nêutrons (FIGURA 25), ou não apresenta nêutrons (FIGURA 27). Tais representações estão relacionadas à ideia de que o núcleo é positivamente carregado e, por isso, o número de nêutrons deve ser menor para não anular a carga dos prótons ou simplesmente não existem nêutrons no núcleo. Ainda, assim, não compreendem o significado dos conceitos de nêutron e de próton.

Figura 26- Representação do átomo moderno do aluno C.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 27- Representação do átomo moderno do aluno S.

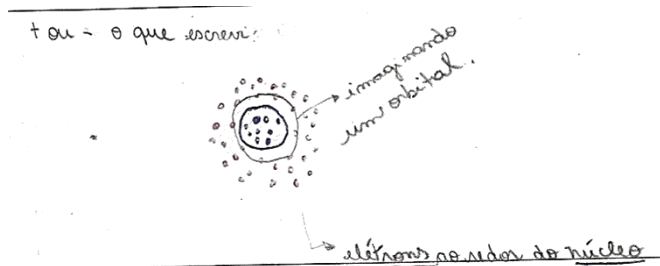


Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

3) No núcleo, encontram-se prótons e elétrons (FIGURA 14), estando estes em menor quantidade, pela mesma explicação do item 2.

4) O núcleo apresenta um tamanho relativamente grande em comparação ao átomo, como representado na Figura 28.

Figura 28- Representação do átomo moderno do aluno G.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

5) Os elétrons são representados com um tamanho maior do que os prótons e nêutrons, como na Figura 15.

As concepções descritas em 4 e 5 revelaram que os alunos possivelmente não têm conhecimento sobre as cargas e sobre a massa das partículas atômicas. Isso pode levar à dificuldade de compreensão dos conceitos de massa atômica e de número atômico.

Da análise das produções dos alunos, notou-se que a maior dificuldade dos estudantes para descrever o modelo atômico moderno (Modelo Quântico) e para propor uma representação pictórica para o mesmo pode estar na ausência ou na incompreensão dos conceitos para interpretá-lo. Como resultado, os modelos propostos pelos aprendizes consistiram em “Modelos Mistos”, nos quais os conceitos de orbital, de órbita, de camadas e de níveis coexistiram em uma mesma representação e/ou descrição.

No caso do “Modelo Quântico Incompleto”, embora os alunos tenham apresentado uma definição científica para orbital atômico, em suas representações, observou-se que o significado do conceito de orbital não ficou claro. O mesmo foi observado para as representações classificadas como “Modelo Misto” e “Modelo Descontextualizado”.

A incompreensão do conceito de orbital pode estar atrelada a uma aprendizagem do tipo mecânica, resultante da memorização indiscriminada de definições. Isso justifica também a confusão entre o modelo atômico moderno e os modelos de Bohr e Rutherford, pois estes são mais comuns para os alunos. Segundo Chassot (2011), o modelo que uma pessoa elabora para um dado objeto é produto do que ela conhece a respeito dele. Tal conhecimento resulta de experiências vivenciais pelos indivíduos, de modo que só é possível falar do modelo a partir da vivência que se tem com ele.

Para a elaboração e para a representação dos modelos para o átomo moderno, os alunos possivelmente se utilizaram das descrições teóricas do livro-texto, tais como energia quantizada, números quânticos e configuração eletrônica e daquelas construídas pelo professor em sala de aula. Em ambos os casos, o “Modelo Quantomecânico” não foi elaborado, como discutido em parágrafos anteriores. Ainda assim, Chassot (2011) ressalta que elaborar um bom modelo pictórico para o átomo atual, que descreva o elétron tanto com propriedades ondulatórias como corpusculares, é impossível, mas o comportamento ondulatório é hoje muito bem elaborado pelo modelo orbital.

De acordo com a análise do levantamento de concepções dos alunos sobre a estrutura atômica, percebeu-se que alguns conceitos químicos podem ser considerados limiares para o entendimento do modelo atômico quantomecânico. Dentre esses conceitos, destacam-se o de orbital e o de energia.

O conceito de orbital aparece apenas nas descrições do modelo quantomecânico, uma vez que as trajetórias precisas dos modelos de Bohr e Rutherford foram substituídas pela ideia da imprecisão oriunda da natureza ondulatória da matéria. Essa imprecisão levou a uma modificação do modelo atômico, de modo que os elétrons passaram a ser descritos como ocupando regiões de probabilidade no espaço, denominadas de orbital. Os estudantes, contudo, não compreenderam o significado do conceito de orbital e ainda, não conseguiram diferenciá-lo do conceito de órbita.

Quanto ao conceito de energia, pode-se destacar sua importância para o entendimento da ordem de distribuição dos orbitais no átomo e suas implicações quanto a forma e o tamanho dos orbitais atômicos. A compreensão desses aspectos contribuiu para elaboração do modelo do átomo quantomecânico apresentado na Figura 18.

Vale ressaltar que o conceito de energia está presente também no modelo atômico de Bohr, contudo, o entendimento do significado que este conceito adquire no contexto de cada um dos modelos é trivial para a diferenciação dos mesmos. No caso do modelo de Bohr fala-se em energia associada ao conceito de órbita e, no modelo quantomecânico a relação se dá

com o conceito de orbital. A compreensão dessas ligações é relevante para a diferenciação dos conceitos de orbital e órbita e para o entendimento do significado do diagrama de níveis de energia de Linus Pauling. A partir desse diagrama podem-se estabelecer relações entre os conceitos de níveis eletrônicos (presente nos modelos anteriores) e o conceito de orbital, corroborando para a construção do modelo atômico quântomecânico proposto na Figura 18.

Para que os alunos venham a construir o modelo atômico quântomecânico proposto na Figura 18, é importante que, ao ensinar, o professor negocie com os alunos, o significado dos conceitos de orbital, órbita, níveis de energia e energia. Além do mais, deve-se favorecer os processos de diferenciação progressiva e de reconciliação integradora, visando apontar diferenças e semelhanças entre os modelos atômicos.

4.1.1.2 Concepções dos alunos sobre propriedades periódicas

As respostas dos alunos à questão de levantamento de concepções sobre as propriedades periódicas foram classificadas segundo as categorias de análise, apresentadas no Capítulo 3, subtítulo “Propriedades Periódicas” (p. 92). A classificação das respostas está descrita na Tabela 8.

Tabela 8- Concepções dos alunos sobre os conceitos de energia de ionização, eletronegatividade e a relação destes com o conceito raio atômico
(Continua)

Aluno	Concepção de energia de ionização	Concepção de eletronegatividade	Relação com o raio atômico
A	II – A	II – A	II – B
B	II – A	I	III
C	III	III	III
D	I	II – B	II – A
E	II – D	I	III
F	I	I	I
G	II – A	I	III
H	I	I	III
I	II – A	II – A	III
J	II – C	III	III
K	II – A	I	III
L	II – A	II – C	II – A
M	II – B	II – D	III
N	I	II – A	I

Fonte: do autor.

Tabela 8- Concepções dos alunos sobre os conceitos de energia de ionização, eletronegatividade e a relação destes com o conceito raio atômico
(Conclusão)

Aluno	Concepção de energia de ionização	Concepção de eletronegatividade	Relação com o raio atômico
O	II – E	II – E	III
P	II – C	II – B	III
Q	I	I	III
R	II – F	II – A	III
S	III	III	III

Fonte: do autor.

A partir dos dados da Tabela 8, referentes ao conceito de energia de ionização, percebeu-se que apenas 5 (dos 19) alunos apresentaram uma definição científica para o mesmo. Tal conhecimento, contudo, não foi relacionado com o conceito de raio atômico, conforme observado por 3 desses alunos. Desse modo, não foi possível, a partir das respostas dos alunos, obter informações sobre o significado que os mesmos atribuíram para a relação entre a energia de ionização e o raio atômico.

Embora os outros 2 estudantes (F e N) tenham estabelecido uma relação coerente entre os conceitos em questão, não se observaram indícios da relação entre a ideia de energia quantizada utilizada na descrição do modelo atômico moderno com a de energia de ionização. Essa relação expressaria de forma mais significativa o entendimento do conceito de energia de ionização, uma vez que para elaborar a definição do mesmo, os alunos utilizariam de conceitos preexistentes na estrutura cognitiva, relacionados ao modelo atômico quantomecânico.

Para os alunos F e N, a quantização de energia está associada, respectivamente, com a absorção e emissão de energia e a determinados valores de energia que mantêm os átomos estáveis. Os alunos não reconheceram, entretanto, a relação existente entre energia quantizada e energia de ionização, uma vez que, para se retirar um elétron de um átomo na fase gasosa, deve-se fornecer um determinado valor de energia necessária, isto é, um valor quantizado.

O não entendimento do significado do conceito de energia de ionização resultou na formação de concepções alternativas, como estas:

- a) tendência dos átomos em perder elétrons ou formar cátions ou até mesmo formar ânions;
- b) força que mantém os elétrons no átomo;
- c) energia para separar íons ou retirar íons de um composto iônico;
- d) estado no qual o átomo já se encontra ionizado.

Em relação ao conceito de eletronegatividade, 7 (dos 19) alunos apresentaram uma definição científica para o mesmo, sendo que apenas 1 (aluno F) deles estabeleceu relações entre o referido conceito e o de raio atômico. Embora a relação apresentada estivesse coerente com a literatura, percebeu-se que uma construção mais robusta e significativa poderia ter sido apresentada. Para tal os alunos fariam uso de conceitos referentes à estrutura atômica, uma vez que a compreensão do conceito de eletronegatividade está relacionada ao entendimento da estrutura eletrônica dos átomos. Descrições referentes à atração entre o núcleo de um átomo e os elétrons de valência do outro não foram identificadas.

Segundo Lopes (1996), a eletronegatividade consiste em uma grandeza associada à tendência de um átomo de atrair elétrons para si numa ligação covalente. Desse modo, seu cálculo se dá em uma situação definida, isto é, ao se considerar uma ligação covalente numa molécula isolada. Assim, não é possível determiná-la a partir de um único átomo (isolado).

De acordo com as afirmações do autor, citadas no parágrafo anterior, percebeu-se que a definição de eletronegatividade não é equivalente em significado ao de eletropositividade, uma vez que a condição da ligação covalente não é necessária para esta última. Nas repostas dos alunos observou-se, entretanto, que a distinção entre ambos não estava clara em suas estruturas cognitivas, uma vez que eletronegatividade foi compreendida como uma tendência dos átomos em receber elétrons, isto é, tem-se a ideia de formação de íons, como na ligação iônica.

Outras concepções alternativas referentes ao conceito de eletronegatividade estiveram presentes nas respostas dos alunos. Dentre elas, destacam-se as seguintes:

- a) a capacidade que os elétrons têm de se unirem;
- b) a tendência negativa que um átomo tem para doar elétrons;
- c) um estado caracterizado quando o elétron se encontra com negatividade baixa, como relatada pelo aluno O.

Duarte (2003) destaca que a compreensão da periodicidade dos elementos químicos e as anomalias observadas para a mesma, ao longo da tabela periódica, têm como base de explicação, os conceitos de carga nuclear efetiva e de blindagem. Ainda segundo o autor, as dificuldades na compreensão dos efeitos de blindagem estão associadas ao modelo de cebola proposto para o átomo. Esse modelo esteve presente em muitas das representações dos alunos para o átomo moderno.

O modelo de cebola também foi utilizado pelo professor em muitos momentos do processo de ensino e de aprendizagem, principalmente para embasar as discussões referentes às propriedades periódicas. A analogia estabelecida entre a cebola e o átomo expressava que

as camadas eletrônicas coincidiam com as camadas da cebola. Duarte (2003) explica que, nesse modelo, os elétrons que se encontram em orbitais de número quântico maior acham-se em regiões do espaço mais externa, conforme evidenciado em algumas representações como aquelas das Figuras 14 e 19.

Ao considerarem o átomo segundo o modelo de cebola, tem-se a ideia de que os elétrons mais internos contribuem para um fator de 100% para a blindagem. Isso, entretanto, não se verifica no átomo moderno, pois os elétrons dos orbitais de maior número quântico principal, apesar de apresentarem uma maior probabilidade de serem encontrados em região mais externa, podem ser encontrados, ainda que com uma pequena probabilidade, em regiões mais internas do que elétrons de número quântico menor. Isso é possível devido à natureza ondulatória da matéria (LOPES, 1996).

4.1.2 Levantamento da compreensão dos alunos sobre a elaboração de mapas conceituais e diagrama V

O levantamento da compreensão dos alunos sobre a elaboração de mapas conceituais e de diagramas V fez-se necessário uma vez que tais instrumentos são construídos segundo metodologias específicas. Desse modo, buscou-se levantar o entendimento referente a essas metodologias e as potencialidades associadas ao uso das ferramentas em questão como instrumentos avaliativos.

4.1.2.1 Mapa conceitual

Conforme ressaltado no Capítulo 3, subtítulo: “1º Momento – Disciplina de Química Geral”, primeiramente, instruiu-se os alunos na elaboração de mapas conceituais, já que estes permitem a familiarização com alguns dos elementos do “Vê”. Para isso, os alunos elaboraram um mapa conceitual referente a um artigo científico. A análise dos mesmos se deu a partir dos critérios descritos na Tabela 3, Capítulo 3, subtítulo: “Metodologia de análise dos mapas conceituais e diagramas V modificados”(p. 95).

Quanto à compreensão da metodologia de construção dos mapas conceituais pelos alunos, obtiveram-se as seguintes constatações:

1) Dificuldades em selecionar os conceitos-chave, a partir do artigo científico. Desse modo, os conceitos químicos mapeados não foram representativos para o tema proposto.

2) Incompreensão do significado de conceito e da palavra de ligação. Isso levou os alunos a se utilizarem de conceitos químicos como palavras de ligação; não fazer uso de palavras de ligação para conectar os conceitos ou utilizar de palavra não conceito, como conceito. Exemplos dessas construções estão descritas a seguir:

Fenômeno linguagem científica transformações variadas. (Grupo C e M) → o conceito linguagem científica foi utilizado como palavra de ligação.

Físicas macroscópicas. (Grupo O) → ausência de palavra de ligação para conectar os conceitos.

Transformação II que podem ser *outros*. (Grupo R e S) → A palavra não conceito “outros” foi utilizada como conceito.

As dificuldades dos alunos em relação à seleção dos conceitos a partir do artigo podem estar associadas a três fatores:

- a) incompreensão do significado do que seja conceito;
 - b) não identificação do tema central do artigo;
 - c) incompreensão dos conceitos químicos abordados no mesmo.
- 3) Predomínio de palavras de ligação que expressam relações pouco significativas.

A tarefa de escolher uma palavra-chave para expressar uma relação significativa entre os conceitos não é nada fácil. Isso faz com que os alunos tenham o costume de utilizar verbos e preposições, o que resulta em relações pobres, reduzindo a potencialidade dos mapas conceituais como ferramenta para negociar significados. Palavras tais como “pode ser”, “é”, “são”, “depende”, “tem”, “ou”, “da”, “de”, “pertence”, “relaciona-se”, não dizem muito sobre as relações estabelecidas entre os conceitos (MOREIRA, 2006). Vale ressaltar, contudo, que embora as proposições sejam simples, podem refletir o que os alunos sabem sobre o tema.

4) Elaboração de proposições sem clareza, e com erros conceituais. Alguns exemplos são apresentados a seguir:

(Tipo de reação) Simples troca gerando equações. (Grupo R e S)

Equação química que se dividem por deslocamento. (Grupo A, D e E)

Novak (1998) destaca que as concepções alternativas, ou seja, a interpretação inadequada de um conceito pode ser caracterizada de duas formas, por uma ligação entre conceitos que forma proposições claramente falsas ou por uma ligação onde falta a ideia-

chave que relaciona dois ou mais conceitos. Desse modo, pode-se dizer que a presença de proposições sem clareza e com erros conceituais evidenciam as concepções alternativas dos alunos.

É importante ressaltar que, a falta de clareza e a presença de proposições com erros conceituais, isto é, as Estrutura hierárquicas Inapropriadas ou Limitadas (LIPs), são indicadores distintos nos mapas conceituais. Proposições sem clareza podem estar relacionadas à falta de treinamento com a técnica de elaboração dos mapas conceituais. As proposições com erros conceituais como discutido no parágrafo anterior, podem revelar concepções alternativas.

Cicuto e Correia (2013) destacam que a presença de LIPs revela uma compreensão limitada ou inapropriada que os alunos apresentam sobre o tema mapeado. A falta de clareza semântica pode ser identificada pela falta de verbo em alguns termos de ligação e também pela conjugação inadequada dos tempos verbais.

5) Dificuldade em organizar os conceitos de forma hierárquica.

6) Dificuldades em estabelecer ligações cruzadas entre conceitos de segmentos diferentes do mapa.

As dificuldades para organizar os conceitos de forma hierárquica e para estabelecer relações cruzadas podem estar relacionadas à incompreensão do significado dos conceitos que estão sendo mapeados, pois os alunos demonstraram ter compreendido o significado de hierarquia conceitual, uma vez que, em suas descrições, evidenciou-se que os mesmos levaram em consideração as relações de subordinação entre os conceitos na construção dos mapas, como expresso nas explicações seguintes:

“Reação química é o topo da hierarquia, pois a partir de reações, se obtém os fenômenos que podem ser químicos ou físicos. A partir daí acontecem subdivisões que irão ampliar e explicar os conceitos e ideias.” Grupo (R e S)

“As hierarquias giram em torno dos fenômenos da natureza, que se dividem em físicos e químicos. Há, portanto, uma subordinação de um conceito em relação ao outro.” Grupo (A, D e E)

A partir desses trechos, percebeu-se que os alunos compreenderam que existe uma relação hierárquica entre os conceitos. Essa relação pode ser expressa na forma de um mapa conceitual e, na medida em que os conceitos vão sendo relacionados, seus significados são ampliados.

7) Predomínio de mapas com estrutura sequencial, na qual foram privilegiadas apenas relações subordinadas de inclusão.

Segundo Moreira (2010), relações horizontais e cruzadas são fundamentais para se promover a reconciliação integrativa e a aprendizagem superordenada.

Com essa análise, pôde-se concluir que uma parte considerável dos alunos representados pela maioria dos grupos compreendeu o significado dos mapas conceituais, como um diagrama que exprime relações significativas e hierárquicas entre conceitos na forma de proposições, ainda que no mapa desses estudantes tenha sido observada a presença de LIPs. Quanto aos demais alunos perceberam-se dificuldades em diferenciar conceitos de palavras não conceitos e selecionar os conceitos-chave a partir da leitura do artigo, revelando a não compreensão do significado do texto. Desse modo, como ressaltado por Moreira (2006), os alunos acabaram por traçar seus mapas de modo que o artigo possa ser “lido” através do mapa, estruturado na forma de um esquema.

As dificuldades dos alunos com alguns dos aspectos relacionados à elaboração dos mapas conceituais podem estar relacionadas também, ao treinamento. Segundo Cicuto e Correia (2013) o processo de treinamento oferecido aos estudantes é importante para permitir o uso proficiente dos mapas conceituais como uma ferramenta de ensino. Outro ponto a ser destacado, além daquele relacionado à incompreensão dos conceitos químicos mapeados, deve-se à inexperiência dos alunos com a leitura de artigos científicos. Toigo e Moreira (2012) destacam que esses textos apresentam uma forma mais específica, técnica, de linguagem que demanda algumas competências que porventura alguns dos alunos ainda não possuíam.

O uso dos artigos na etapa de treinamento pode ter contribuído para a sobrecarga da memória de trabalho. Desse modo, a carga extrínseca adicional, ou seja, a necessidade dos alunos em possuírem competências para o entendimento do artigo pode ter comprometido a efetividade da aprendizagem da técnica pelos estudantes.

4.1.2.2 Diagrama V modificado

Após a elaboração do mapa conceitual citado anteriormente, instruíram-se os alunos na elaboração do diagrama V, considerando-se as modificações sugeridas pelo pesquisador. Desse modo, mais um mapa conceitual foi confeccionado, entretanto, como parte integrante do “Vê” e se referindo às questões-foco propostas no mesmo. Para a análise desse mapa, utilizaram-se os critérios descritos na Tabela 5, no Capítulo 3, subtítulo: “Metodologia de

análise dos mapas conceituais e diagramas V modificados” (p. 100). O tema para a construção do mapa conceitual se deu como base na questão-foco proposta no diagrama V: “Como se comporta a solubilidade do nitrato de potássio em água, com a temperatura?”.

A partir da análise dos mapas conceituais, percebeu-se que os conceitos-chave curva de solubilidade, temperatura, coeficiente de solubilidade, polaridade e interações intermoleculares não apareceram em todos os mapas. Além do mais, algumas das dificuldades observadas na construção dos primeiros mapas ainda estiveram presentes nestes, tais como: ausência e/ou o uso de palavras de ligação incorretas e pobres, proposições equivocadas, ausência de ligações cruzadas e de hierarquias bem definidas. Tais observações foram condizentes com o tempo de treinamento dos alunos já que eles ainda encontravam-se no processo de construção de seus primeiros mapas conceituais.

A ausência de palavras de ligação revelou a incompreensão, por parte dos alunos, dos conceitos que buscaram relacionar. Ainda que os estudantes estivessem em um processo de treinamento, percebeu-se que o fator marcante da ocorrência de LIPs nos mapas conceituais, deveu-se ao não entendimento dos conceitos, uma vez que os mesmos estiveram relacionados com os objetos e acontecimentos estudados, com a realização do experimento. Tal assertiva se confirmou com a análise dos demais elementos do “Vê”, como será discutido nesse tópico.

Exemplos de proposições com ausência de palavras de ligação são:

Líquida.....insaturado. Grupo (F, I e Q)

Temperatura.....dissolução exotérmica. Grupo (G, J e S)

Saturada.....dissolução endotérmica. Grupo (B e N)

Supersaturada.....temperatura. Grupo (K e R)

O uso de palavras de ligação incorretas e as proposições equivocadas revelaram informações sobre as concepções alternativas dos alunos referentes a muitos dos conceitos mapeados, incluindo aqueles relacionados à questão-foco, objetos/acontecimentos. Alguns exemplos de proposições que revelaram concepções alternativas foram:

*Mistura **pode ser** exotérmica.* Grupo (F, I e Q)

*Capacidade de dissolução **que cria uma** curva de solubilidade.* Grupo (A, E e O)

*Interação intermolecular **forma** mistura.* Grupo (B e N)

*Limite de concentração **determina** solubilidade.* Grupo (D, H e L)

Tais informações mostraram que os mapas conceituais são ferramentas que permitem a identificação de conceitos-chave ou de proposições que ainda não foram aprendidos. Desse modo, evidenciam-se as relações que deveriam ter sido estabelecidas entre o novo conhecimento e aqueles já existentes na estrutura cognitiva dos alunos. Somando-se a isso,

possibilitam ao professor detectar as ligações deficientes e os conceitos-chave relevantes da matéria de ensino que estiveram ausentes (NOVAK e GOWIN, 1984).

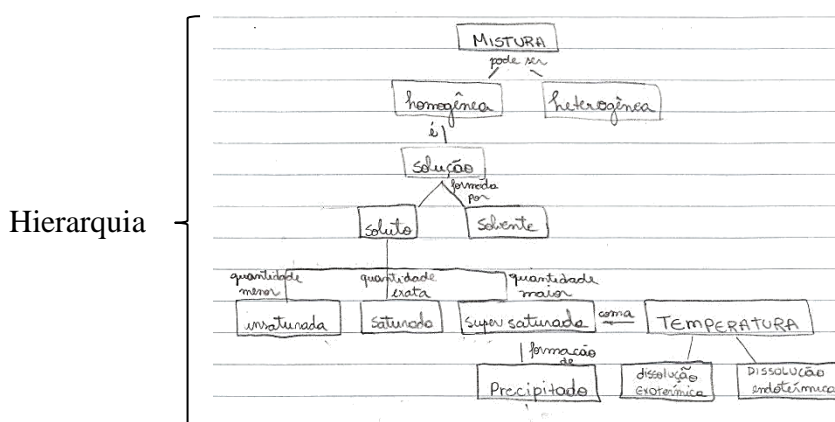
Outro ponto a ser destacado é que os mapas conceituais revelam a partir das hierarquias e ligações cruzadas a ocorrência de uma aprendizagem significativa. A estrutura hierárquica dos mapas conceituais informa sobre as relações de subordinação estabelecidas entre os conceitos e as proposições, indo dos mais específicos aos mais gerais e abrangentes. Revela também a diferenciação progressiva dos conceitos que resulta na ampliação do significado dos conceitos à medida que novas relações são estabelecidas. As ligações cruzadas, por sua vez, indicam a ocorrência da reconciliação integrativa entre os novos conceitos e os anteriores, evidenciando que os significados das semelhanças e das diferenças entre os conceitos foram incorporadas na estrutura cognitiva do aluno (NOVAK, 1998). Todos estes processos levam à construção de uma aprendizagem significativa, cujo resultado é a atribuição de significados aos conceitos aprendidos.

Embora uma estrutura hierárquica tenha sido observada em alguns mapas, como aquele da Figura 29, percebeu-se que as relações foram pobres e pouco significativas, pois revelaram apenas uma classificação. Ainda que a natureza do conhecimento avaliado em alguns momentos revele-se por processos classificatórios, como por exemplo, os tipos de mistura, observado no mapa conceitual da Figura 29, deve-se também dar atenção àqueles processos não muito presentes na programação sequencial dos materiais instrucionais, como a reconciliação integradora.

Moreira e Veit (2010) ressaltam que a reconciliação integradora assim como a diferenciação progressiva são processos que revelam a ocorrência de uma aprendizagem significativa, desse modo é importante dar atenção para as diferenças e semelhanças entre conceitos e proposições e reconciliar inconsistências reais ou aparentes. Isso se opõe à prática usual de muitos livros textos em separar ideias em tópicos, em capítulos e em seções não relacionadas entre si.

Nesse mapa, a diferenciação progressiva ocorreu para os conceitos como mistura e solução, sendo estes diferenciados em homogênea e heterogênea, soluto e solvente, respectivamente.

Figura 29- Mapa conceitual do grupo (G, J e S) referente ao diagrama V da atividade prática intitulada “Construção da curva de solubilidade do nitrato de potássio”.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Uma relação mais significativa poderia ter sido evidenciada no mapa da Figura 29, ao se considerar que o tipo de mistura pode revelar informações sobre a miscibilidade das substâncias que a constitui. Uma relação pobre que prioriza exclusivamente a classificação não permite fazer afirmações sobre a ocorrência de uma aprendizagem significativa.

A elaboração de um mapa conceitual hierárquico requer que os alunos reflitam sobre os conceitos a serem mapeados, os que são considerados mais gerais ou mais inclusivos. Novak e Gowin (1984) informam que para isso é necessário um pensamento cognitivo ativo. Assim, pode-se dizer que a tarefa de elaborar mapas conceituais não é nada fácil.

De acordo com Belmonte (2007), a identificação de dificuldades na elaboração dos mapas pode servir de orientação para que os alunos venham a modificar sua estrutura cognitiva, levando-os a revisar seus conhecimentos sobre o tema. Essa mudança é impulsionada pela busca de palavras de ligação distintas que expressam o real significado dos conceitos relacionados, pela hierarquização dos conceitos visando níveis significativos e pelo estabelecimento de ligações significativas entre conceitos, situadas em segmentos paralelos do mapa.

Ao se compararem os critérios hierarquia e palavras de ligação, obtidos com esses mapas e aqueles relacionados ao primeiro, observou-se que houve uma diminuição da qualidade do critério hierarquia, enquanto que não foram percebidos avanços do critério ligações cruzadas. Isso pode estar associado ao não entendimento, pelos alunos, dos significados dos conceitos mapeados, evidenciado pelas proposições incorretas e pela ausência de palavras de ligação conectando os conceitos. Outro motivo pode estar associado à pouca contribuição da atividade experimental para a construção desses conceitos.

A análise dos demais elementos do “Vê” ocorreu com base nos critérios descritos na Tabela 4, no Capítulo 3, subtítulo: “Metodologia de análise dos mapas conceituais e diagramas V modificados” (p.96).

Segundo Novak e Gowin (1984), para que o “Vê” possa revelar uma boa porção do conhecimento, deverá incluir todos os elementos que o constitui, as relações entre estes deve ser coerente, compreensiva e significativa. Desse modo, caso alguns dos elementos estejam omissos, pode-se dizer que o conhecimento produzido apresentou falhas.

As falhas na construção do conhecimento podem ser reveladas quando os conceitos-chave ou princípios forem omitidos; os registros não estiverem claramente ligados aos acontecimentos/objetos que descrevem; os princípios e as teorias não forem estabelecidos ou implícitos, os juízos cognitivos estiverem ligados de forma ambígua aos registros, aos princípios e aos demais elementos do lado esquerdo do Vê (NOVAK e GOWIN, 1984).

Além das falhas mencionadas no parágrafo anterior, podem-se incluir aquelas relacionadas aos elementos inseridos no “Vê” pelo pesquisador, como o modelo e a representação. Logo, se os modelos descritos não forem consistentes com a teoria proposta, ou a representação for incoerente com o modelo proposto, haverá indicativos de deficiências na aprendizagem, pois segundo Chassot (2011), a aprendizagem em Química ocorre por meio de modelos. Desse modo, pode-se dizer que a representação que uma pessoa faz de um dado objeto reflete o que ela conhece sobre ele e permite, assim, obter informações sobre possíveis concepções alternativas.

As informações obtidas sobre a compreensão dos alunos quanto à elaboração dos elementos do “Vê” e ao estabelecimento de relações entre os mesmos estão descritas a seguir:

1) A questão-foco não foi identificada na maioria dos diagramas ou a identificação se deu de forma incompleta, isto é, considerou-se apenas uma parte dela como, por exemplo: “Como se comporta a solubilidade do nitrato de potássio em água.”. Talvez os alunos ainda não se tenham dado conta da importância da questão-foco nesse processo e, mais do que isso, da importância de se considerar a temperatura para entender como varia a solubilidade dos sais.

2) Não foram identificadas dificuldades quanto à identificação dos objetos/acontecimentos.

3) Os alunos apresentaram dificuldades em identificar uma teoria que permitisse explicar os objetos e acontecimentos observados, isto é, a dissolução do $\text{KNO}_3(s)$ e sua relação com a temperatura. A descrição de um modelo foi, entretanto, observada na maioria dos “Vês” ainda que com erros conceituais.

Dentre os erros conceituais observados, destacaram-se os seguintes:

a) considerar um composto iônico como o $\text{KNO}_{3(s)}$ como um composto molecular, retratado pelos grupos (F, I e Q), (G, J e S) e (D, H e L) ;

b) descrever as interações entre os íons do soluto e as moléculas do solvente em termos da formação de cavidades pelas moléculas de água e a ocupação dessas cavidades pelos íons do soluto, como relatado pelo grupo (D, H e L).

A partir da descrição do modelo da dissolução do $\text{KNO}_{3(s)}$ em água, foi possível obter indícios sobre a aprendizagem dos alunos. Por exemplo, os alunos do grupo (A, E e O) relataram que a solubilidade dos sais em água está relacionada com a força da interação entre as espécies químicas que constituem o soluto e o solvente. Além do mais, a explicação para a solubilidade do nitrato de potássio em água foi dada em termos da polaridade das moléculas de água, resultante da diferença de eletronegatividade entre os átomos de oxigênio e de hidrogênio.

O estabelecimento de relações entre a nova informação (solubilidade e dissolução) com aqueles conhecimentos já presentes na estrutura cognitiva (polaridade, eletronegatividade) forneceram indícios de uma aprendizagem significativa. Uma evidência maior deste tipo de aprendizagem pode, contudo, ser percebida pelas relações que os alunos estabeleceram entre a representação e os juízos cognitivos.

4) As representações dos alunos não evidenciaram o processo de dissolução do $\text{KNO}_{3(s)}$ em água, mas apenas a solvatação dos íons K^+ e NO_3^- . Para que a dissolução fosse representada, os alunos deveriam conhecer a estrutura do retículo cristalino do $\text{KNO}_{3(s)}$, exigindo-se assim um conhecimento mais elaborado que estava além daquele disponível no momento. Desse modo, pode-se considerar que as representações foram suficientes para evidenciar a relação que os alunos estabeleceram entre o modelo descrito e o acontecimento estudado. Alguns erros conceituais foram, no entanto, identificados, como por exemplo, a representação proposta pelo grupo (G, I e S), na qual se tem uma espécie química O-H solvatando o íon $\text{Na}^+_{(aq)}$ e outra o íon $\text{NO}_3^-_{(aq)}$. Vale destacar que a geometria da molécula de água e a estrutura de Lewis do íon $\text{NO}_3^-_{(aq)}$ estavam corretas.

5) Os alunos não apresentaram dificuldades em elaborar os registros e as transformações, uma vez que o primeiro foi definido durante a realização do experimento e transcrito no “Vê”. Já as transformações, resultaram na organização dos dados na forma de um gráfico, referente à curva de solubilidade do nitrato de potássio.

6) A elaboração dos juízos cognitivos, pela maioria dos alunos, ocorreu com base apenas nos aspectos teóricos ou nos metodológicos. A relação entre esses dois domínios do

conhecimento só apareceu no “Vê” do grupo (A, E e O) em que se observou o uso dos dados obtidos com a curva de solubilidade para explicar a dissolução do $\text{KNO}_{3(s)}$. Como a curva de solubilidade foi crescente, os alunos concluíram que se tratava de uma dissolução endotérmica. Alguns erros conceituais foram, contudo, percebidos, tais como:

a) considerar o nitrato de potássio como uma molécula;

b) fazer uso da teoria cinético molecular para explicar a quebra das ligações iônicas em termos da temperatura. Estas são rompidas não pelo efeito do calor, mas, sim, pela interação energeticamente favorável dos íons do retículo cristalino com as moléculas de água.

7) A construção dos juízos de valor resultou em interpretações dos resultados e em conclusões obtidos na investigação. Alguns erros conceituais foram, entretanto, observados nas construções dos alunos dos grupos (F, I e Q), (G, J e S) e (D, H e L). Alguns dos erros identificados foram os seguintes:

a) descrever a solubilidade como uma dissolução endotérmica;

b) considerar que o aumento da temperatura da água do mar leva a um desaparecimento dos sais;

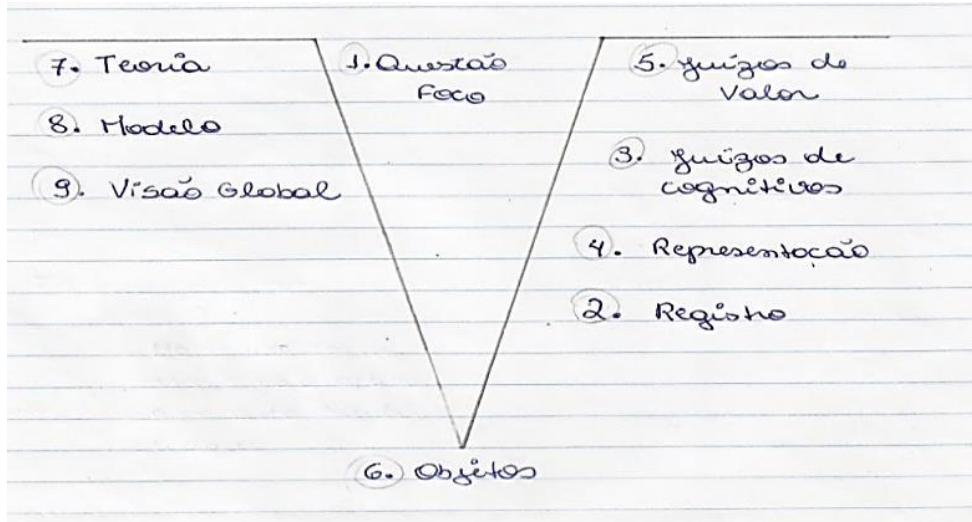
c) relatar que o aumento da solubilidade dos sais em detrimento do aumento da temperatura prejudica a produção de sais.

A organização e apresentação do “Vê” se deu de forma poluída para a maioria dos grupos, uma vez que a ordem dos elementos foi alterada ou os mesmos foram apresentados como anexos, conforme o exemplo apresentado na Figura 30.

No diagrama da Figura 30, além da desorganização dos elementos, os alunos incluíram um elemento (visão global) não pertencente ao “Vê” proposto neste estudo. Tais sistematizações forneceram indícios de que a construção do “Vê”, pelos alunos, pode ter consistido em uma simples atividade de preenchimento dos elementos, comprometendo-se, assim, o processo de construção do conhecimento e a aprendizagem significativa.

Belmonte (2007) afirma que a elaboração do “Vê” pelos alunos, a princípio, requer colaboração por parte do professor, para que desenvolvam os procedimentos e as capacidades exigidas para construí-los. Por isso o autor sugere o uso de guias como orientação para a elaboração do referido instrumento. Assim como os mapas conceituais, os diagramas V apresentam uma metodologia específica de elaboração, desse modo, a aprendizagem da técnica requer treinamento. Como esse foi o primeiro diagrama V modificado elaborado pelos alunos, algumas dificuldades eram esperadas, assim como a aquelas referentes à organização e articulação entre os elementos.

Figura 30- Diagrama V elaborado pelo grupo (G, J e S) referente à atividade prática intitulada "Construção da curva de solubilidade do nitrato de potássio".
(Continua)



① Questão foco: Como se comporta a solubilidade do nitrato de potássio em água

③ Juiz cognitivos: Quanto maior a temperatura e maior a quantidade de nitrato de potássio maior será a curva de solubilidade.

⑨ Visão geral: comportamento da solubilidade do nitrato de potássio.

⑦ Teoria: Lítica molecular

⑧ modelo: Quebra das pontes de hidrogênio, liberação de energia, assim acontece a quebra da molécula de água nitrato de potássio, formando K^+ (cation) e NO_3^- ânion para que haja a interação com as moléculas de H_2O .

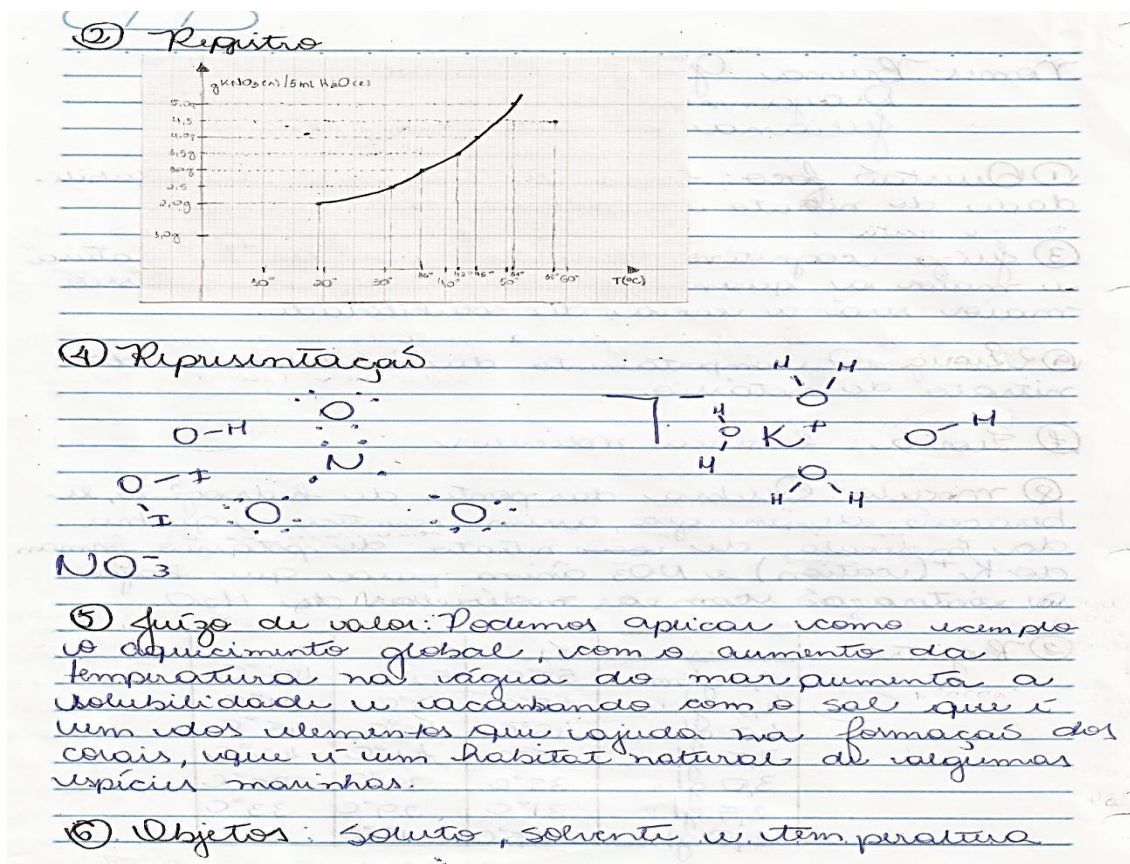
② Registro:

massa	T ₁	T ₂	T ₃
5,0 g/5ml	53°C	52°C	49°C
4,5 g/1"	55°C	58°C	61°C
4,0 g/1"	46°C	45°C	45°C
3,5 g/1"	45°C	41°C	42°C
3,0 g/1"	35°C	39°C	35°C
2,5 g/1"	31°C	29°C	33°C
2,0 g/1"	18°C	19°C	20°C

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 30- Diagrama V elaborado pelo grupo (G, J e S) referente à atividade prática intitulada “Construção da curva de solubilidade do nitrato de potássio”.

(Conclusão)



Fonte: dos sujeitos de pesquisa

Embora algumas falhas tenham sido observadas em decorrência da falta de treinamento e da incompreensão de alguns conceitos e princípios relacionados ao conhecimento químico avaliado, pode-se dizer que o “Vê” modificado apresenta potencialidades para revelar como o conhecimento é produzido mediante as possibilidades em estabelecer relações entre a nova informação e os conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva. Isso é intensificada quando se utilizam os mapas conceituais como um de seus elementos, os conceitos (NOVAK e GOWIN, 1984).

4.2 ESTUDO FINAL

Após a realização do estudo inicial, no qual se levantaram as concepções dos alunos sobre a estrutura da matéria e propriedades periódicas, bem como a compreensão dos mesmos

quanto à elaboração de mapas conceituais e diagramas V, desenvolveu-se o estudo final. A partir desse estudo, buscou-se fazer uso de 5 diagramas V, modificados em sequência, como instrumento para avaliar a aprendizagem dos alunos sobre o conteúdo de ligações químicas.

A análise de cada um dos diagramas se deu com base na Tabela 4, apresentada no Capítulo 3, subtítulo: “Metodologia de análise dos mapas conceituais e diagramas V” (p. 96). Para a análise dos mapas conceituais que compuseram o elemento CONCEITOS, do lado esquerdo do “Vê”, utilizaram-se os critérios descritos na Tabela 5, apresentada no mesmo capítulo e subtítulo mencionados neste parágrafo.

As informações obtidas com a análise dos instrumentos avaliativos são apresentadas nos subtítulos seguintes, na ordem em que foram elaborados pelos alunos. Durante as discussões, buscou-se relatar os avanços e as dificuldades referentes à aprendizagem dos alunos. As discussões fundamentaram-se na Teoria da Aprendizagem Significativa e nos critérios de análise descritos nas Tabelas 4 e 5. Nesse sentido, pode-se considerar a aprendizagem como um processo, podendo iniciar-se de forma mecânica e à medida que relações não arbitrárias são estabelecidas entre a nova informação e os subsunçores torna-se significativa.

4.2.1 Análise do primeiro diagrama V modificado

As QUESTÕES-FOCO propostas para a elaboração do primeiro diagrama V foram: “Dentre os metais alcalinos ($K_{(s)}$ e $Na_{(s)}$) e alcalinos terrosos ($Mg_{(s)}$ e $Ca_{(s)}$) estudados, quais apresentaram maior reatividade frente à água? Qual é a relação entre a configuração eletrônica e as propriedades periódicas desses metais com a sua reatividade?”. Tais questões exigiram dos alunos conhecimentos referentes à estrutura atômica, às propriedades periódicas e à reatividade dos metais. Desse modo, buscou-se obter informações sobre a compreensão dos estudantes sobre os referidos conteúdos da área da ciência Química, bem como identificar se as concepções apresentadas no estudo inicial apresentaram alguma modificação.

A análise do diagrama V iniciou-se pelo elemento CONCEITOS, isto é, pelos mapas conceituais. As pontuações atribuídas aos oito mapas avaliados encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9- Pontuação dos mapas conceituais, referente ao primeiro diagrama V do estudo final, segundo os critérios de análise

Categorias	Grupos							
	F, I e Q	G, J e S	A e E	B e N	K e R	D, H e L	M e P	C e O
Conceitos	11	18	18	11	14	22	12	11
Palavra de ligação	5×3 =15	4×3 =12	4×3 =12	(-)	0	5×3 =15	5×3 =15	(-)
Proposição	9	10	12	0	1	13	3	(-)
Hierarquia	4×5 =20	4×5 =20	5×5 =25	0	3×5 =15	4×5 =20	0	()
Segmentos	2×5 =10	4×5 =20	5×5 =25	(-)	2×5 =10	1×5 =5	0	(-)
Ligações cruzadas	()	0	()	()	(-)	0	()	()
Exemplos	()	()	()	()	0	()	()	()
Q	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5
Pontos	65	80	92	11	40	50	20	11
Q	65×1,0 =65,0	80×1,0 =80,0	92×1,0 =92,0	11×0,5 =5,5	40×1,0 =40,0	50×1,0 =50,0	20×0,5 =10,0	11×0,5 =5,5

Fonte: do autor.

Nota:¹Os sinais (-) indicam que a soma dos fatores corretos e incorretos foi negativa, e desse modo não contabilizados. ²O símbolo () indica que os fatores aos quais se referem não foram identificados. ³ O valor zero indica que a soma dos fatores corretos e incorretos foi zero.

A partir dos dados apresentados na Tabela 9, percebeu-se que os valores do índice de qualidade Q atribuídos aos mapas conceituais não foram os mesmos. Isso se deu em decorrência de alguns fatores epistemológicos, como aqueles discutidos a seguir. Os mapas dos grupos (F, I e Q), (G, J e S), (A e E), (K e R) e (D, H e L) apresentaram palavras de ligação corretas, proposições com significado, organização hierárquica simples e presença de segmentos diferentes. Não responderam, entretanto, às questões-foco, por isso atribuiu-se um valor de 1,0.

Quanto aos demais, o valor atribuído ao índice de qualidade Q foi de 0,5. Esses mapas foram considerados pouco inovadores e semelhantes a diagramas de fluxo ou a organogramas. Além disso, em algumas situações, as palavras de ligação utilizadas levaram a formação de relações pobres, ou nem mesmo foram utilizadas, ligações cruzadas e horizontais não apareceram e hierarquias bem estruturadas não foram observadas. Os conceitos foram apresentados em suas “partes”, ou seja, buscou-se mapear a definição do conceito, levando à formação de fases. Esses aspectos podem estar associados a pouca experiência dos alunos em elaborar bons mapas conceituais.

A partir dos valores apresentados na Tabela 9, calcularam-se os valores de \bar{x} (média) e σ (desvio padrão), por meio das equações 1 e 2 e se elaborou a Tabela 10. O valor de \bar{x} calculado foi 47,25 e o valor de σ foi 35,33.

Tabela 10- Nota dos mapas conceituais, referentes ao primeiro diagrama V do estudo final, segundo a distribuição em torno da pontuação média

-23,41	11,92	47,25	82,58	117,91
Abaixo da média		Média	Acima da média	
0,5	0,75	1,0	1,25	1,5

Fonte: do autor.

Com base na Tabela 10, atribuem-se aos mapas analisados os seguintes valores:

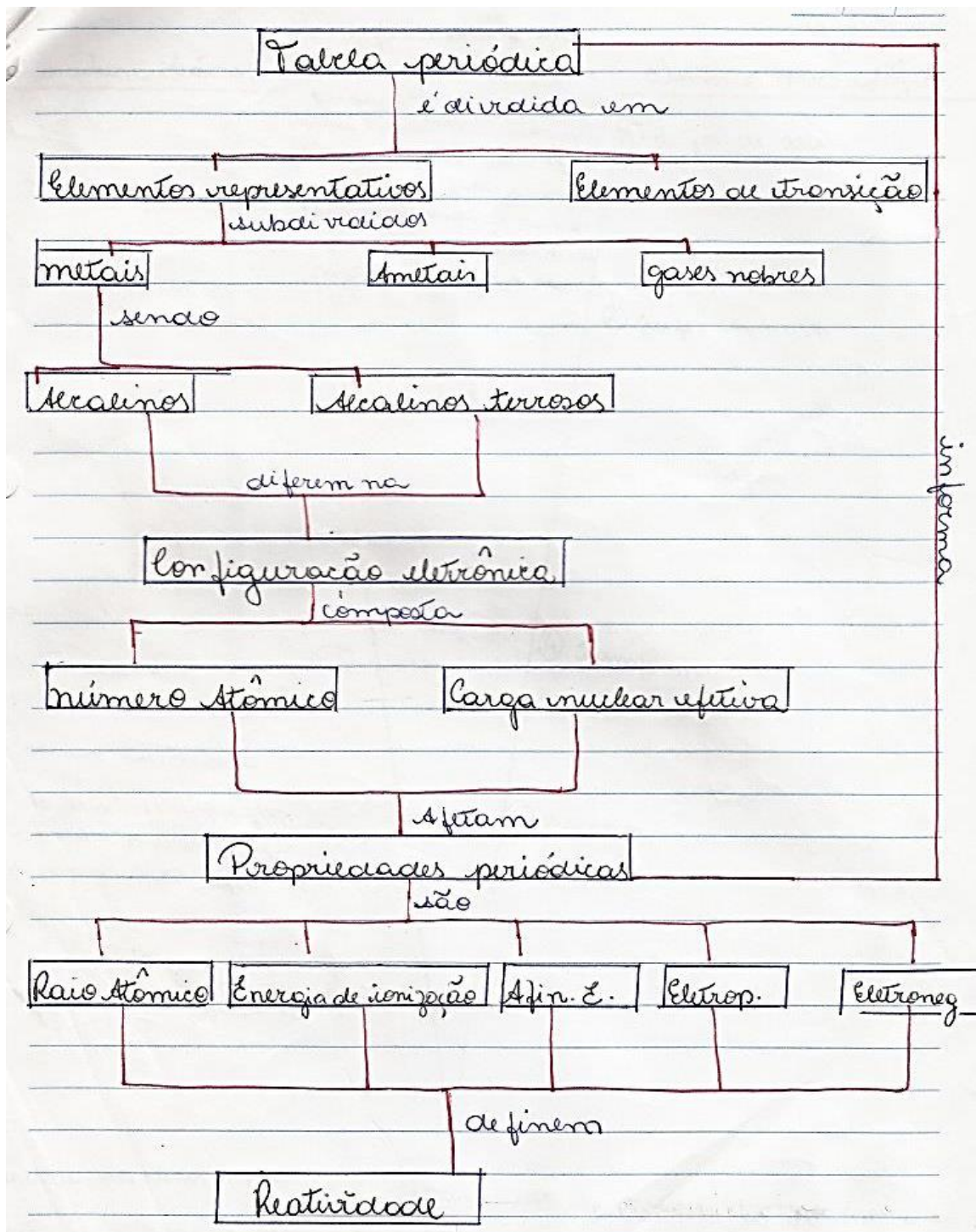
Grupo	F, I e Q	G, J e S	A e E	B e N	K e R	D, H e L	M e P	C e O
Nota	1,05	1,20	1,35	0,60	0,90	1,10	0,70	0,60

A maioria dos alunos apresentou pontuações bem próximas da média ou acima dela. As HIERARQUIAS mantiveram-se, contudo, com características classificatórias, como aquelas observadas nos mapas conceituais dos grupos (A e E) e (D, H e L), Figuras 31 e 32, respectivamente. Isso pode estar relacionado a dois aspectos:

a) a natureza do conhecimento químico avaliado, uma vez que ao se abordar o conteúdo de propriedades periódicas e estrutura atômica, busca-se estabelecer relações de classificação;

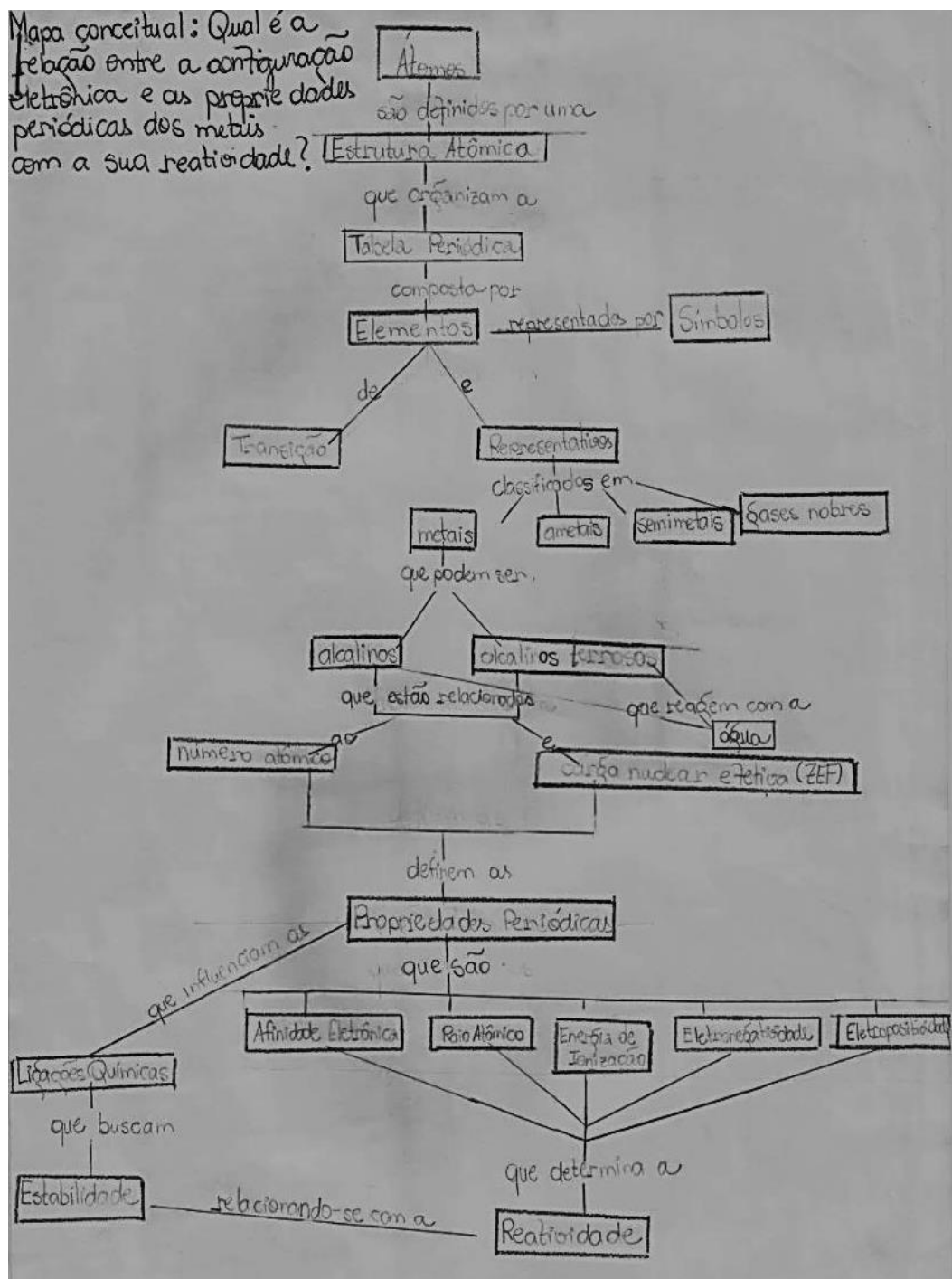
b) as dificuldades dos alunos em proporem uma nova organização dos conceitos em detrimento da ocorrência de novas relações de subordinação e superordenação, entre os conceitos referentes às propriedades periódicas e estrutura da matéria, como os conceitos abordados na questão-foco.

Figura 31- Mapa conceitual do grupo (A e E) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 32- Mapa conceitual do grupo (D, H e L) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.

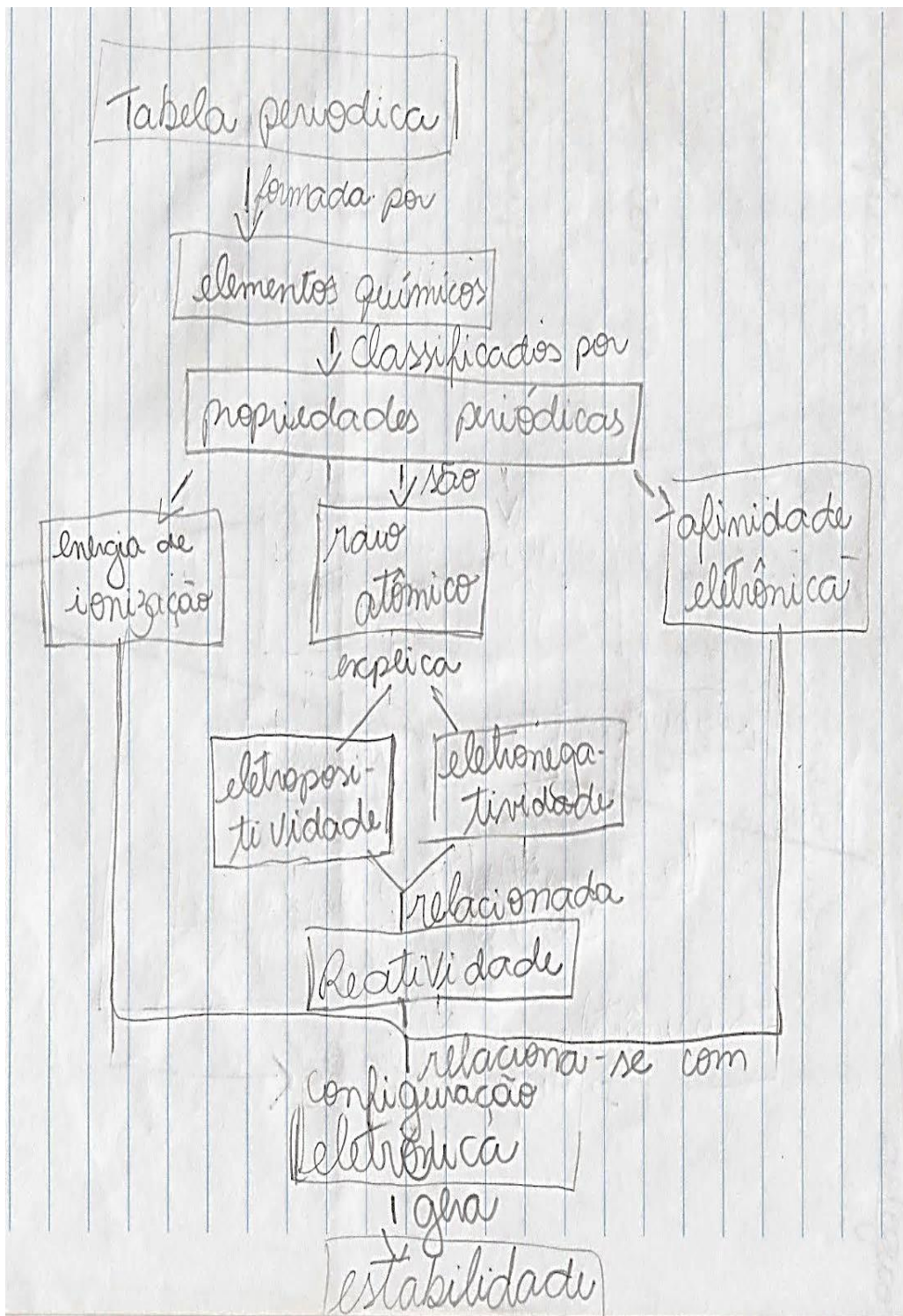


Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

A estrutura visualizada nas Figuras 31 e 32 exemplificam relações de classificação como: a classificação dos elementos químicos segundo a Tabela periódica em: representativos ou de transição e metais, ametais e semimetais ou gases nobres. Os metais foram classificados em alcalinos e alcalinos terrosos. Outro tipo de classificação foi aquela observada nos mapas dos grupos (F, I e Q), (G, J e S) e (K e R), Figuras 33, 34 e 35, respectivamente. Nesse caso,

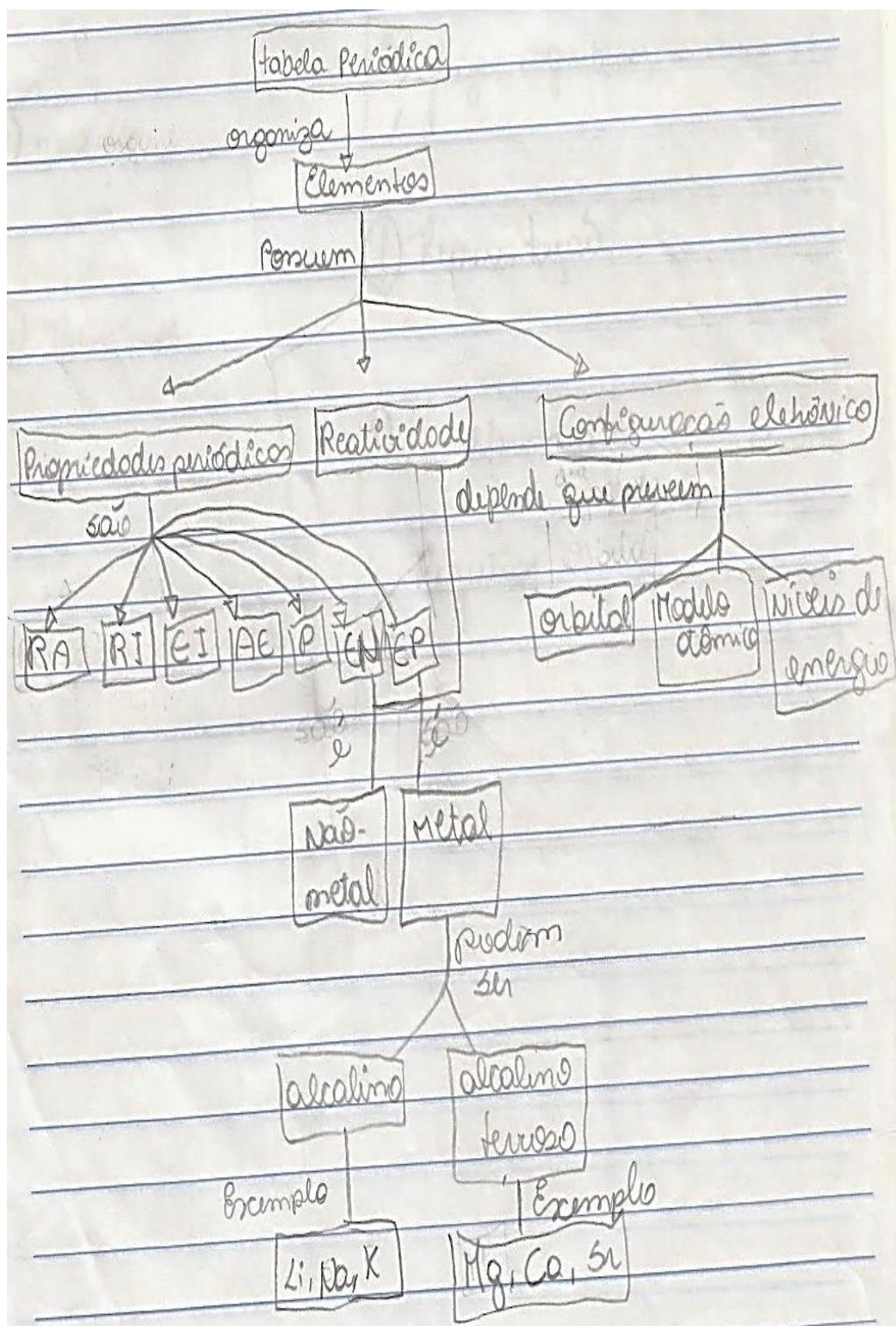
apresentou-se a classificação das propriedades periódicas. Essas classificações revelam relações de subordinação de conceitos específicos (classificação dos elementos químicos) a conceitos gerais (tabela periódica).

Figura 33- Mapa conceitual do grupo (F, I e Q) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



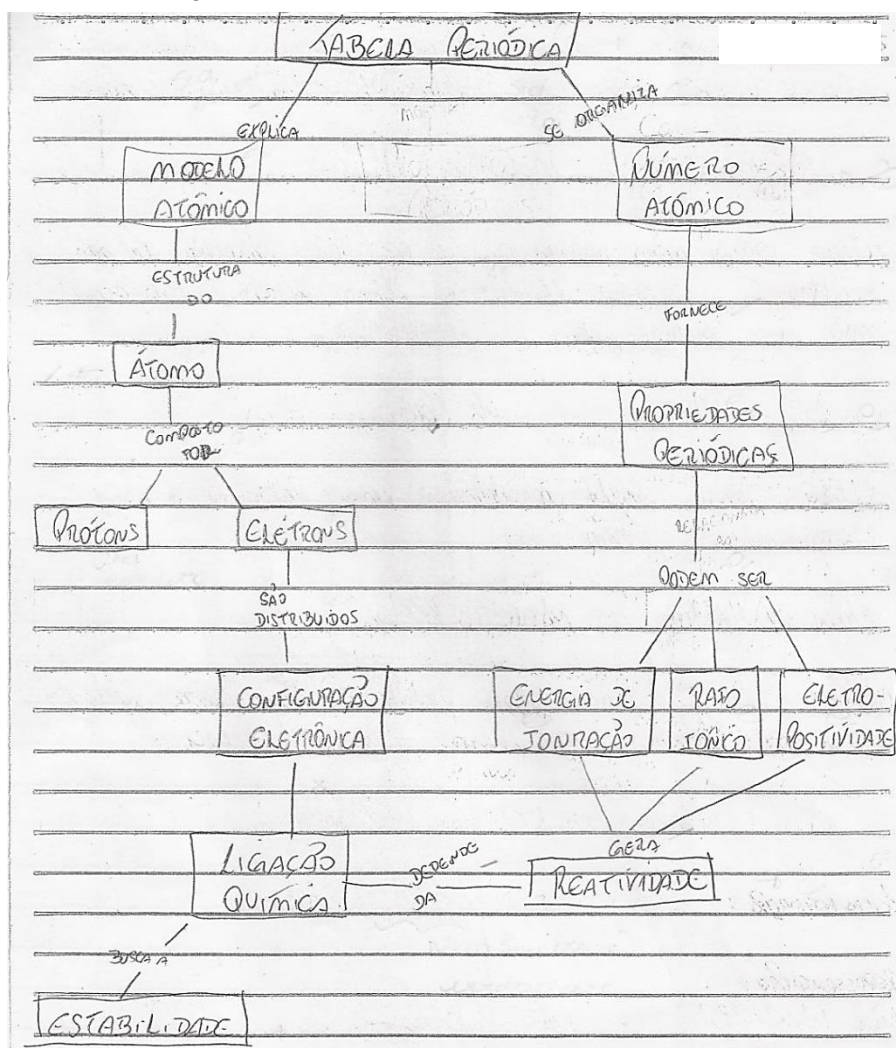
Fonte: dos sujeitos de pesquisa

Figura 34- Mapa conceitual do grupo (G, J e S) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 35- Mapa conceitual do grupo (K e R) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Nos mapas analisados, não foram identificadas muitas LIGAÇÕES CRUZADAS ou aquelas apresentadas não resultaram em PROPOSIÇÃO significativas, uma vez que as palavras-chave, necessárias para expressar o significado da relação, não foram utilizadas. Relações desse tipo foram elaboradas pelo grupo (G, J e S) em que se buscou ligar o conceito de reatividade com eletropositividade (*reatividade **depende** eletropositividade*). Além dessa ocorrência, ligações cruzadas incorretas foram observadas, como aquelas propostas pelos grupos (G, J e S) e (K e R), apresentadas a seguir:

*Reatividade **depende** eletronegatividade.* Grupo (G, J e S)

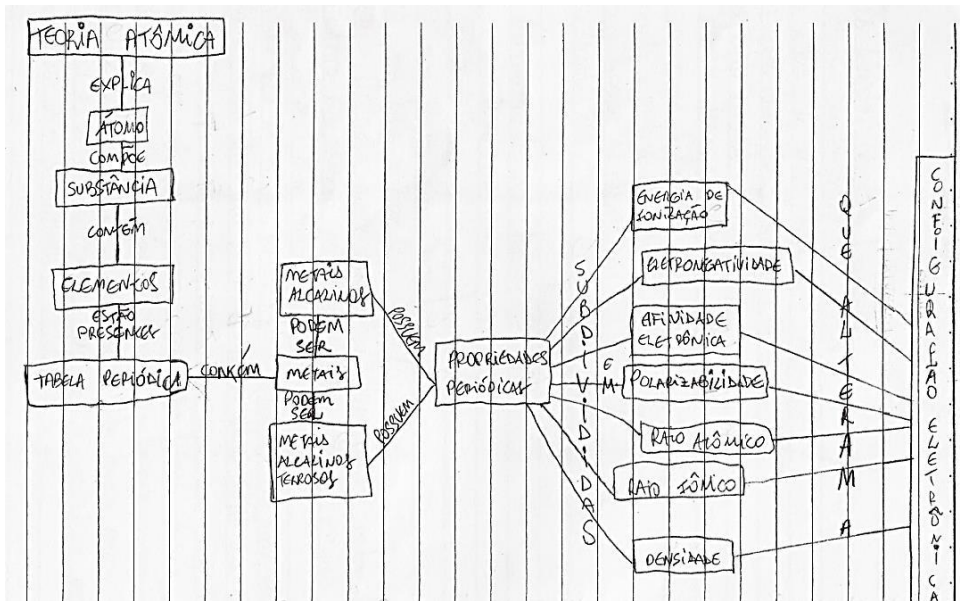
*Ligação química **depende da** reatividade.* Grupo (K e R)

Proposições com erros conceituais evidenciam a incompreensão, pelos alunos, do significado dos conceitos relacionados. Nas proposições acima se percebeu que os estudantes

não têm uma ideia clara referente às relações entre o conceito de reatividade e as propriedades periódicas.

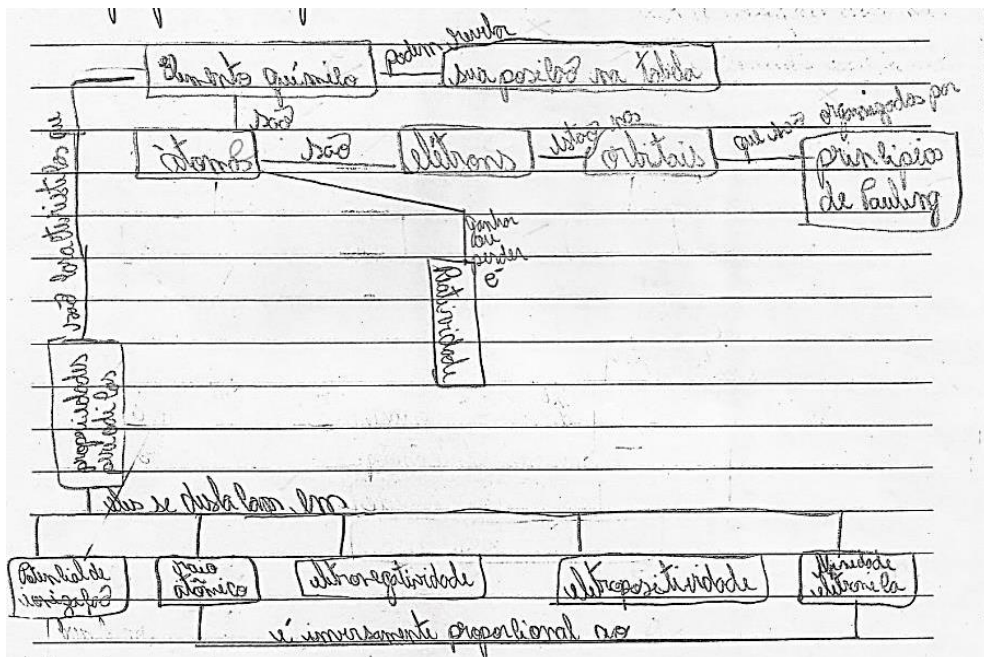
Na maioria dos mapas, exceto naqueles dos grupos (M e P) (FIGURA 36) e (C e O) (FIGURA 37), os alunos estabeleceram relações entre o conceito de reatividade e aqueles relacionados aos tipos de propriedades periódicas.

Figura 36- Mapa conceitual do Grupo (M e P) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 37- Mapa conceitual do Grupo (C e O) referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

A relação entre o conceito de reatividade e as propriedades periódicas ocorreu de duas formas:

a) com todos os tipos de propriedades periódicas estudadas;

b) com alguns tipos específicos de propriedades periódicas.

Os exemplos a seguir ilustram as relações citadas acima.

*Energia de ionização **gera** reatividade. Grupo (K e R)*

*Raio atômico **gera** reatividade. Grupo (K e R)*

*Eletropositividade **gera** reatividade. Grupo (K e R)*

*Eletropositividade **relacionada** reatividade. Grupo (F, I e Q)*

*Eletronegatividade **relacionada** reatividade. Grupo (F, I e Q)*

*Reatividade **depende** eletropositividade. Grupo (G, J e S)*

*Reatividade **depende** eletronegatividade. Grupo (G, J e S)*

*Raio atômico **definem** reatividade. Grupo (A e E)*

*Energia de ionização **definem** reatividade. Grupo (A e E)*

*Afinidade eletrônica **definem** reatividade. Grupo (A e E)*

*Eletropositividade **definem** reatividade. Grupo (A e E)*

*Eletronegatividade **definem** reatividade. Grupo (A e E)*

*Raio atômico **que determinam a** reatividade. Grupo (D, H e L)*

*Energia de ionização **que determinam a** reatividade. Grupo (D, H e L)*

*Afinidade eletrônica **que determinam a** reatividade. Grupo (D, H e L)*

*Eletropositividade **que determinam a** reatividade. Grupo (D, H e L)*

*Eletronegatividade **que determinam a** reatividade. Grupo (D, H e L)*

*Reatividade **depende** energia de ionização. Grupo (B e N)*

*Reatividade **diminui** raio atômico. Grupo (B e N)*

O uso das PALAVRAS DE LIGAÇÃO “gera”, “depende”, “definem”, “que determinam a” e “depende”, nas PROPOSIÇÕES apresentadas, não permitiu expressar explicitamente o significado das relações e, em alguns casos, observaram-se erros conceituais. Tais proposições revelaram que os alunos reconheceram que existe uma dependência entre a reatividade e as propriedades periódicas. A natureza dessa dependência não foi, contudo, evidenciada, como observado com o uso da PALAVRA DE LIGAÇÃO “diminui” para ligar os conceitos reatividade e raio atômico. Ainda que essa relação não tenha apresentado significado semântico, acredita-se que o aluno tem a ideia de que a reatividade diminui com a diminuição do raio atômico e, conseqüentemente, se o raio aumentar, a reatividade também

aumentará. Tal assertiva poderia ter sido comprovada, mediante a explicação do mapa pelos alunos.

A reatividade de um metal diz respeito à facilidade com que os seus átomos “perdem” elétrons. Desse modo, pode-se dizer que existe uma relação entre a reatividade e a eletropositividade, como destacado pelo grupo (G, J e S). Este também relacionou a reatividade com a eletronegatividade. Isso pode ter sido apresentado em consequência da ideia de que a eletronegatividade é a tendência dos átomos em “ganhar” elétrons, sendo o oposto da eletropositividade, como observado no levantamento de concepções do estudo inicial. O grupo (F, I e Q) também relacionou a reatividade apenas às propriedades periódicas eletropositividade e eletronegatividade, mas sem ligações com os conceitos metais e não metais.

A relação entre o conceito reatividade e a configuração eletrônica foi mencionada apenas no mapa do grupo (F, I e Q), conforme a seguinte proposição: “*reatividade relaciona-se com configuração eletrônica*”. Todavia tal relação não forneceu muitas informações sobre a natureza da relação existente entre a reatividade e a configuração eletrônica, sendo, assim, pouco significativa.

Ao se comparar os dados obtidos do estudo inicial, referentes às concepções dos alunos sobre as propriedades periódicas com as PROPOSIÇÕES apresentadas nos mapas conceituais, percebeu-se que algumas concepções se mantiveram. Desse modo, pode-se dizer que a incompreensão do significado científico dos conceitos pode ter contribuído para a formação de proposições pobres e com erros conceituais, ainda que o problema com o treinamento da técnica tenha influenciado sobre o ocorrido.

Dentre as concepções que se mantiveram podem-se citar aquelas expressas pelas seguintes proposições:

Propriedades periódicas alteram a configuração eletrônica. (interpretação do pesquisador) Grupo (M e P).

Átomos são elétrons. Grupo (O)

Eletropositividade tendem ganhar e possuem energia de ionização. Grupo (B e N)

Eletropositividade tendem perder e possuem energia de ionização. Grupo (B e N)

Nessas PROPOSIÇÕES identificou-se que os alunos (M e P) não compreenderam o significado dos conceitos de configuração eletrônica e de propriedades periódicas, de modo que afirmaram que as propriedades periódicas alteram a configuração eletrônica, enquanto que o significado da relação está na compreensão de que os elementos químicos de uma

mesma família apresentam propriedades semelhantes em decorrência de possuírem equivalência na configuração eletrônica da camada de valência (LEE, 2006).

No estudo inicial, o aluno B compreendia a energia de ionização como a tendência dos átomos em perder elétrons e em formar íons, enquanto que o aluno N apresentou, para o mesmo, uma interpretação científica. Com relação ao conceito de eletronegatividade, o aluno B apresentou uma concepção científica e o aluno N o definiu como sendo a tendência dos átomos em receber elétrons.

Ao se confrontar as concepções descritas no parágrafo anterior com aquelas reveladas pelas PROPOSIÇÕES presentes nos mapas, percebeu-se que as concepções sobre os referidos conceitos:

a) permaneceram, como, por exemplo, ao se considerar a eletronegatividade como a tendência dos átomos em ganhar elétrons;

b) novas foram criadas, como, por exemplo, ao se considerar a energia de ionização como a tendência dos átomos em perder ou ganhar elétrons.

Tais constatações forneceram indícios de que as concepções científicas identificadas no estudo inicial podem ter sido resultantes de uma aprendizagem memorística, pois em um contexto que exigiu não apenas a definição dos conceitos, mas os significados que eles adquirem mediante as relações com outros conceitos, os alunos vieram a apresentar concepções alternativas.

Quanto às concepções dos modelos atômicos modernos, levantadas no estudo inicial, identificou-se que o aluno O apresentou um modelo pautado na ideia de célula, em que o átomo é formado por um pequeno núcleo central, rodeado por uma área delimitada, a eletrosfera, na qual os elétrons se encontram distribuídos. A partir da PROPOSIÇÃO expressa no mapa conceitual, observou-se que a compreensão do modelo de átomo, pelo aluno, não foi adquirida, mesmo após o ensino, pois o estudante passou a definir o átomo como elétron.

Vale destacar que alguns avanços na aprendizagem, ainda que sutis, foram observados, como por exemplo, ao se propor uma relação entre a carga nuclear efetiva e as propriedades periódicas. Essa relação não havia sido citada no estudo inicial, para a explicação das propriedades periódicas. A relação manifestada no mapa conceitual não revelou, contudo, a influência que a carga nuclear tem sobre as propriedades periódicas. Exemplos de PROPOSIÇÕES com tais características seriam as seguintes:

*Carga nuclear efetiva **definem** as propriedades periódicas.* Grupo (A e E)

*Carga nuclear efetiva **afetam** propriedades periódicas.* Grupo (D, H e L)

Atkins e Jones (1996) e Duarte (2006) relatam que a variação da carga nuclear efetiva na Tabela Periódica contribui para a explicação das tendências da periodicidade. Desse modo, pode-se dizer que este conceito é importante para a aprendizagem de ligações químicas.

A partir das PROPOSIÇÕES apresentadas nos mapas, foi possível também obter informações sobre as concepções de alguns alunos sobre o conceito de ligação química. Alguns exemplos seriam os seguintes:

Ligação iônica formam íons. Grupo (B e N)

Estabilidade (referindo-se a ligação iônica) pela regra do octeto. Grupo (B e N)

Regra do octeto (referindo-se à ligação iônica) é explicada pela estrutura de Lewis.

Grupo (B e N)

Propriedades periódicas que influenciam as ligações químicas. Grupo (D, M e L)

Ligações químicas que buscam estabilidade. Grupo (D, M e L)

Ligação química busca a estabilidade. Grupo (K e R)

As concepções reveladas nessas PROPOSIÇÕES foram as seguintes:

a) as propriedades periódicas podem auxiliar na explicação da natureza das ligações químicas;

b) a formação de ligações químicas resultam em estabilidade;

c) a ligação iônica resulta na formação de íons;

d) a estabilidade adquirida na formação das ligações químicas deve-se ao atingimento de oito elétrons na camada de valência pelos átomos que se ligam;

e) a explicação da estrutura dos compostos iônicos é dada pela estrutura de Lewis, que revela apenas a ligação entre um cátion e um ânion e não faz referência à estrutura cristalina.

As pontuações atribuídas aos demais elementos do “Vê” estão descritas na Tabela 11.

Tabela 11- Pontuação dos diagramas V referente ao primeiro “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise

(Continua)

Elementos do “Vê”	Grupos							
	F, I e Q	G, J e S	A, E	B e N	K e R	D, H e L	M e P	O e C
Questão-foco	0,5	0	0,5	0	0	0,5	0	0,5
Objetos/ acontecimentos	0,25	0	0,5	0,25	0	0,25	0,5	0,5
Conceitos	1,05	1,20	1,35	0,60	0,90	1,10	0,70	0,60
Teoria	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,5	0,15	0,5
Modelo	0,5	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5
Princípios	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25	0,5
Registros	0,15	0,35	0,35	0,15	0,35	0,35	0,15	0,25
Transformações	0,5	0,5	0,5	0,35	0,35	0,5	0,35	0,5

Fonte: do autor.

Tabela 11- Pontuação dos diagramas V referente ao primeiro “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise

(Conclusão)

Elementos do “Vê”	Grupos							
	F, I e Q	G, J e S	A, E	B e N	K e R	D, H e L	M e P	O e C
Juízos cognitivos	0,75	0,75	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	1,5
Juízos de valor	0,25	0,25	0,25	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0
Pontuação final	5,45	5,55	7,70	3,85	5,85	6,70	4,60	7,35

Fonte: do autor.

Os valores apresentados na Tabela 11 revelaram que a maioria dos grupos recebeu uma pontuação menor do que a média (5,88). Isso pode estar relacionado a dois motivos:

- a) a não identificação da QUESTÃO-FOCO e dos OBJETOS/ACONTECIMENTOS;
- b) aos erros conceituais observados na descrição dos elementos.

A ocorrência do primeiro motivo pode ter sido resultado da desatenção dos alunos no momento da elaboração do “Vê” ou do não entendimento do significado dos referidos elementos para a construção do conhecimento. Este último pode justificar o fato de os estudantes dos grupos (B e N) (K e R) e (M e P) não terem considerado os elementos em questão no “Vê” do estudo inicial e neste. Outro fator que relevante pode estar relacionado ao treinamento de elaboração da técnica e ao tempo de uso da mesma, já que este foi o segundo diagrama V modificado elaborado pelos alunos.

Os erros conceituais podem estar relacionados ao não entendimento dos conceitos-chave envolvidos na QUESTÃO-FOCO e da relação existente entre eles. Isso foi identificado na análise dos mapas conceituais, a partir das relações estabelecidas entre os conceitos de reatividade/configuração eletrônica e de reatividade/propriedades periódicas. Tais relações foram discutidas em parágrafos anteriores.

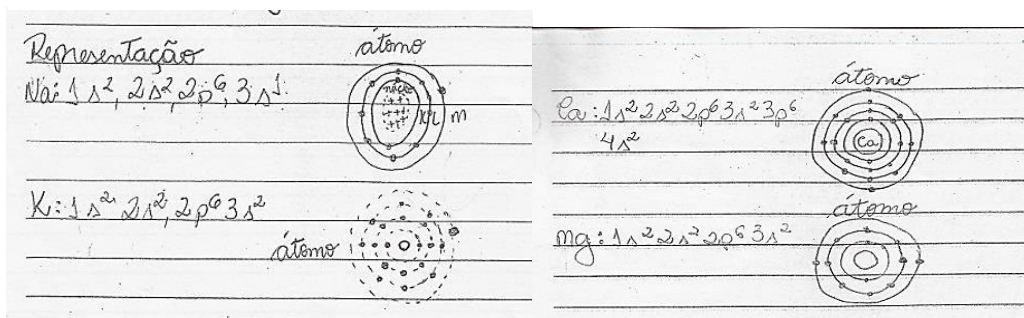
A análise dos elementos do lado conceitual (TEORIA, MODELO e PRINCÍPIOS) e da REPRESENTAÇÃO permitiu obter mais informações sobre o entendimento da estrutura da matéria, além daquelas apresentadas no estudo inicial. A construção do conhecimento girou em torno do ACONTECIMENTO estudado, a reatividade dos metais alcalinos e alcalinos terrosos em água. A partir do conhecimento de que a reatividade dos metais está associada à perda de elétrons de valência pelos átomos que constituem os metais, os alunos propuseram uma REPRESENTAÇÃO para os átomos dos metais e para seus respectivos cátions.

A TEORIA e o MODELO propostos pelos estudantes para explicar o ACONTECIMENTO observado foram, respectivamente, a teoria atômica e o modelo

quantomecânico. Com os PRINCÍPIOS, buscaram discutir a relação entre o conceito de reatividade e os conceitos de propriedades periódicas e de configuração eletrônica.

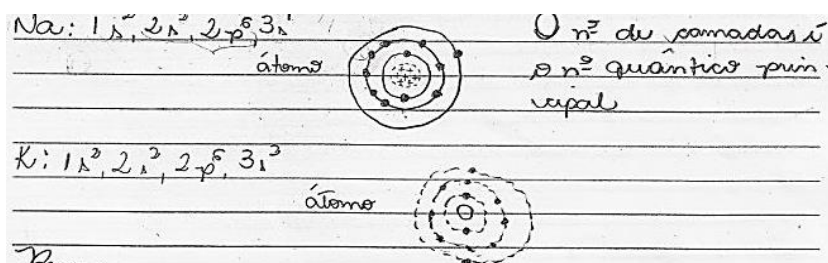
Embora a maioria dos alunos tenha descrito o MODELO quantomecânico para o átomo, grande parte das representações apresentaram características do modelo de Bohr, como pode ser observado nas REPRESENTAÇÕES das Figuras 38 e 39.

Figura 38- Representação do grupo (F, I e Q) para os átomos de Na, Ca, Mg e K, referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 39- Representação do grupo (G, J e S) para os átomos de Na e K, referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

No elemento MODELO, os alunos dos grupos (F, I e Q) e (G, J e S) descreveram a posição dos elétrons no átomo, respectivamente, como segue: (a) “a correspondente função de onda ψ descreve o orbital, ou seja, o volume do espaço no qual há uma grande probabilidade de encontrar o elétron” e (b) “agora os elétrons não estão em órbitas como dizia a teoria de Bohr, mas em orbitais onde os números quânticos indicam seus orbitais”. Tais descrições não coincidem, contudo, com a REPRESENTAÇÃO, na qual os elétrons ocupam órbitas circulares com trajetória bem definida.

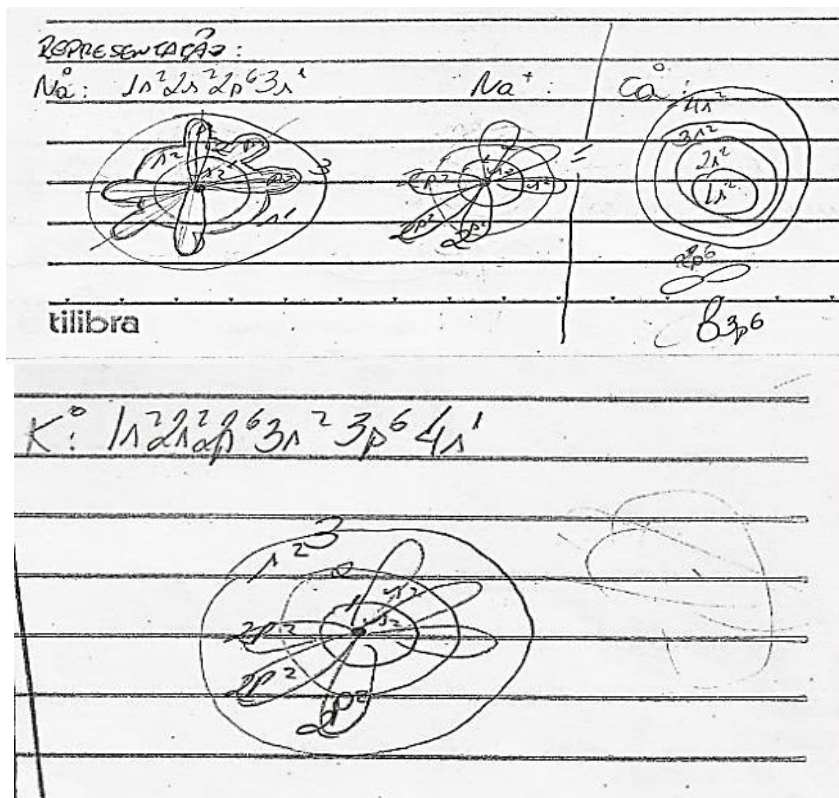
Os alunos (F, I e Q) e (G, J e S) reconheceram que segundo o modelo quantomecânico existe uma incerteza quanto à posição dos elétrons no átomo em decorrência de sua natureza

dualística. Não compreenderam, entretanto, o conceito de orbital e tampouco souberam aplicá-lo na representação dos átomos e de seus respectivos cátions. Desse modo, não se pode afirmar que tal conceito foi aprendido de forma desejável. A ausência do conceito de orbital pode ter dificultado a interpretação do modelo quantomecânico, contribuindo para a permanência de órbitas circulares nos desenhos dos estudantes.

Nas REPRESENTAÇÕES das Figuras 38 e 39, percebeu-se que os alunos desenharam apenas os átomos e a configuração eletrônica do átomo de potássio (K). Esta estava incorreta, pois foi considerada igual à do átomo de sódio (Na). Assim, os átomos de ambos os elementos químicos apresentaram o mesmo raio atômico e não foram diferenciados em tamanho.

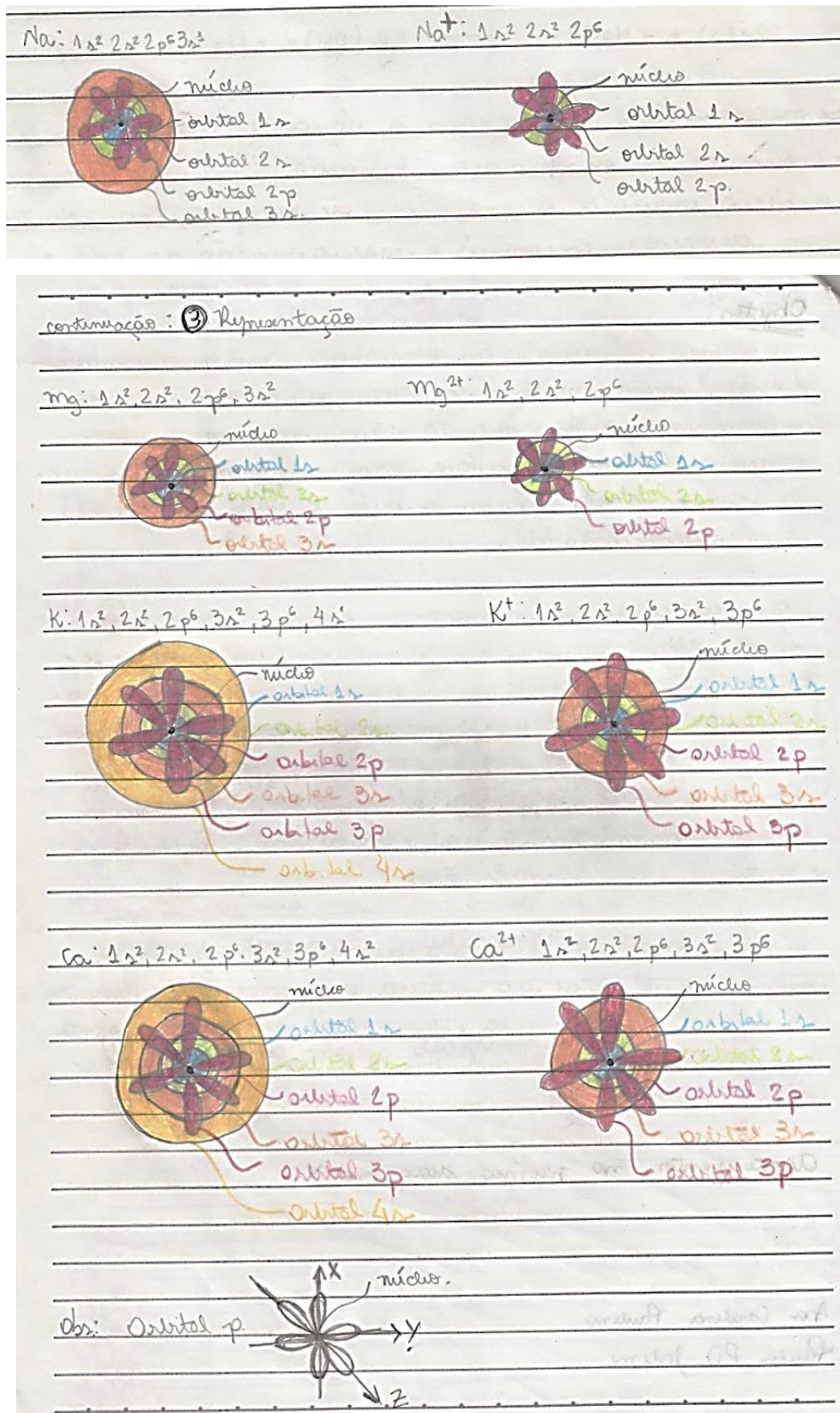
Os alunos A, E, K e R, que no estudo inicial haviam apresentado um modelo quantomecânico incompleto para o átomo moderno, após o ensino, passaram a apresentar um modelo completo, como pode ser observado nas Figuras 40 e 41. O desenho do átomo de cálcio (Ca) pelo grupo (K e R) foi, entretanto, bem próximo do modelo apresentado no estudo inicial. Já o grupo (A e E) representou o átomo com seus respectivos orbitais, respeitando a forma, o tamanho e a energia dos mesmos, estando de acordo com as ideias do princípio da Incerteza de Heisenberg e da dualidade partícula-onda do elétron.

Figura 40- Representação do grupo (K e R), para o átomo de Na e seu respectivo cátion (Na^+) e para os átomos de Ca e K, referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

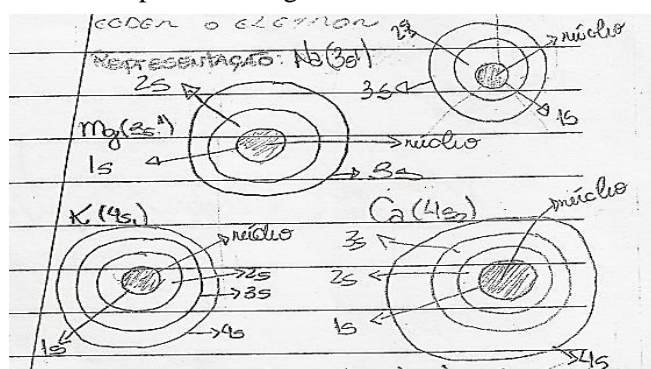
Figura 41- Representação do grupo (A e E), referente aos átomos de Na, K, Ca e Mg e seus respectivos cátions, referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

No estudo inicial, os alunos O e C consideraram o átomo moderno segundo os modelos descontextualizado e misto, respectivamente. Após o ensino, passaram a apresentar um modelo quântico incompleto, como pode ser observado no desenho da Figura 42. Nesse caso, os estudantes representaram apenas os orbitais 1s, 2s, 3s e 4p e o orbital 1s foi tido como o núcleo do átomo.

Figura 42- Representação do grupo (O e C), para os átomos de Mg, K, Ca e Na, referente ao primeiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Vale ressaltar que as REPRESENTAÇÕES elaboradas pelos alunos consistiram em representações pictóricas. Estas, segundo Pessoa Jr. (2007), procuram reproduzir o aspecto visual do objeto. Como os átomos e as moléculas, são objetos imperceptíveis, a teoria quântica fornece apenas uma previsão de um modelo para o átomo moderno. Desse modo, pode-se a partir das REPRESENTAÇÕES elaboradas pelos estudantes, obter informações do entendimento dos mesmos sobre o modelo atômico moderno.

A partir dos PRINCÍPIOS, puderam-se obter mais informações sobre a aprendizagem dos alunos referente às propriedades periódicas. O conceito de energia de ionização para a maioria dos alunos permaneceu como uma tendência ou como uma facilidade dos átomos em perder elétrons, conforme observado nas construções dos estudantes a seguir:

“Energia de ionização, quanto maior for o átomo, maior será a reatividade, porque é mais fácil “soltar” o elétron.” Grupo (G, J e S)

“Quanto menor a energia de ionização maior será a reatividade do átomo, pois quanto maior a energia de ionização, maior o tamanho do átomo, sendo mais fácil de remover o elétron.” Grupo (A e E)

“A energia de ionização aumenta à medida que o tamanho do átomo diminui, pois quando o átomo é maior o elétron sofre uma menor atração da carga nuclear tendo tendência a perder seu elétron com maior facilidade.” Grupo (D, H e L)

Nessas construções, os alunos reforçam a ideia de perda de elétrons, ao afirmarem que quanto menor for a energia de ionização mais facilmente o átomo irá perder seus elétrons. A ideia de energia não foi, todavia, compreendida, apesar de alguns alunos terem definido, no estudo inicial, a energia de ionização como a energia necessária para “arrancar” um elétron do átomo no estado gasoso.

A incompreensão do fator energético pode ter contribuído para o uso do conceito de energia de ionização como sinônimo de eletropositividade. Tal confusão provavelmente tenha se originado de um ensino no qual a reconciliação integradora entre os dois conceitos não foi considerada, isto é, não foram discutidas com os alunos as semelhanças e as diferenças entre os atributos de tais conceitos, conforme observado na discussão entre o professor e os alunos, apresentada a seguir:

Professor: *Se eu falo em energia necessária, significa fornecer ou perder energia?*

Coro: *Fornecer.*

Professor: *Quanto maior o átomo, a energia de ionização para remover o elétron será maior ou menor?*

Coro: *Menor.*

O trecho acima revelou que o ensino foi baseado na memorização de definições, e, não, no compartilhamento dos significados dos conceitos. Desse modo, os alunos responderam corretamente às perguntas do professor durante o questionamento, mas, quando o conceito energia de ionização foi solicitado em outro contexto (mapa conceitual e princípios), não se observaram relações significativas e, em alguns, as construções foram incorretas, como comentado nos parágrafos anteriores.

Outra explicação para a confusão entre os conceitos energia de ionização e eletropositividade refere-se à não abordagem do conceito subsunçor (energia) durante o ensino e a diferenciação progressiva deste em energia de ionização. Isso levou provavelmente a uma aprendizagem mecânica, pois os alunos não relacionaram a nova informação energia de ionização ao subsunçor energia. Desse modo, acabaram por considerá-lo como equivalente à eletropositividade.

A confusão entre os referidos conceitos ficou ainda mais evidente ao se contrastarem as TRANSFORMAÇÕES e os JUÍZOS COGNITIVOS. Os alunos F, I, Q, G, J, S, A, E, M, P, D, H, L, O e C afirmaram que a ordem, de reatividade dos metais em água foi a seguinte: $K > Ca > Na > Mg$. Já os alunos K, R, B e N apresentaram a seguinte sequência: $K > Na > Ca > Mg$.

A energia de ionização não serviria de parâmetro para se determinar a ordem de reatividade apresentada pelo primeiro grupo de alunos, mas daria conta de explicar a segunda

sequência, pois o cálcio apresenta energia de ionização maior do que a do sódio, de modo que, pela definição de energia de ionização proposta pelos alunos, o cálcio deveria ser menos reativo do que o sódio. Isso não foi, contudo, observado com a realização do experimento.

Nesse sentido, percebeu-se que o uso do conceito de energia de ionização como sinônimo de eletropositividade levou a interpretações incorretas sobre a reatividade dos metais. Assim, o melhor parâmetro para se determinar a reatividade dos metais seria a eletropositividade e o raio atômico e não a energia de ionização como proposto por grande parte dos alunos.

Quanto à relação entre os conceitos reatividade e configuração eletrônica, a maioria dos estudantes destacou nos PRINCÍPIOS que, a partir da configuração eletrônica, pode-se identificar o número de elétrons da camada de valência e, com isso, determinar se é mais favorável ao átomo ganhar ou perder elétrons, para adquirir estabilidade, conforme exemplificado nos diagramas dos grupos (B e N) e (C e O), Figuras 43 e 44, respectivamente. Tais afirmações forneceram indícios de que os alunos atribuíram a estabilidade dos átomos à aquisição de uma camada fechada ou de uma camada de gás nobre.

Alguns erros conceituais foram observados nos REGISTROS apresentados nos diagramas das Figuras 44 e 45. Dentre os erros percebidos, destacaram-se os seguintes: (a) considerar a substância água como uma molécula líquida – Grupo (B e N); (b) a suposição de que o modelo quântico proposto para o átomo visou explicar a diferença de energia entre a matéria e a radiação – Grupo (B e N); (c) as reações entre os metais e a água levam à formação de óxidos – Grupo (B e N); (d) a natureza dualística dos elétrons se deve ao seu comportamento como matéria e energia – Grupo (O); (e) ao reagir com água, o magnésio tem seu pH alterado – Grupo (O) e (f) ao colocar o sódio, o cloro e o potássio em contato com a água, eles sofrem dissolução – Grupo (O).

Com relação aos JUÍZOS COGNITIVOS, a maioria dos alunos respondeu que os metais alcalinos foram mais reativos; ou citaram qual o metal alcalino e alcalino terroso foi mais reativo. Uma explicação para a ordem de reatividade apresentada nas TRANSFORMAÇÕES não foi, todavia, observada.

Os JUÍZOS COGNITIVOS elaborados pelo grupo (C e O) (FIGURA 44) se deram com base nos PRINCÍPIOS, na TRANSFORMAÇÃO e na REPRESENTAÇÃO. Já aqueles construídos pelo grupo (F, I e Q), ocorreram segundo o PRINCÍPIO e as TRANSFORMAÇÕES.

Figura 43- Diagrama V do grupo (B e N), referente à reatividade dos metais alcalinos e alcalinos terrosos.

QUESTÃO FECE: Os metais alcalinos apresentam maior reatividade frente a água. Por apresentarem apenas 1 elétron na última camada e possuírem o maior raio atômico do período, cedem este elétron com facilidade, reagindo fortemente com a água.

Filosofia: Os gregos foram os primeiros a questionar sobre a matéria. Aristóteles, por exemplo, contribuiu com as propriedades dos elementos pelo tato (úmido-frio, quente-seco) e o quinto elemento, éter.

Teoria: Bohr apresentou uma mudança no modelo de Rutherford, em que os elétrons giram em torno do núcleo em órbitas com energias diferentes. Outros cientistas como Einstein, Max Planck e Heisenberg desenvolveram a teoria do Modelo quântico para melhorar os modelos de Bohr, e explicam a relação de energia entre a matéria e a radiação.

Modelo: Broglie contribuiu em que o elétron deveria comportar-se como onda para uma partícula. A dualidade partícula-onda elimina a possibilidade de descrever ao mesmo tempo a localização e a trajetória da partícula. Heisenberg expressou quantitativamente esta complementariedade. Devido a isso, como as partículas não podem se mover em trajetórias precisas, substituiu a trajetória por uma função matemática.

Princípios: a) A eletropositividade é a tendência que o átomo tem de perder o elétron. Energia de ionização é a energia necessária para remover o elétron. O raio atômico está relacionado com a força de atração e repulsão entre núcleo e elétrons.
b) A camada de valência está relacionada em saber se é mais vantajoso para o átomo perder ou ganhar elétrons para atingir a estabilidade. Através da distribuição eletrônica estabelece a ordem de energia dos orbitais, facilitando o preenchimento destes pelos elétrons. Quanto menos elétrons na camada de valência, é mais vantajoso para o átomo perder o elétron.

Conceitos: Mapa conceitual.

Objetos: A água é uma molécula líquida, incolor e inodora, usada como solvente universal. O Mg é um sólido duro, que se encontra na família 2A da tabela periódica, no terceiro período. O cálcio, está na família 2A, no 4º período da tabela periódica, um metal pouco rígido. O sódio (Na), família 1A, 3º período da tabela periódica, com aparência rígida. O potássio (K), da família 1A, no 4º período da tabela periódica, com aparência pouco rígida. Como característica dos metais, todos apresentam um brilho próprio.

Júrios DE Valor: O aumento da reatividade de cada grupo está relacionado com o raio atômico. Os metais da família 1A e 2A tendem a ceder os elétrons da camada de valência para alcançar a estabilidade. Em água, as reações são muito rápidas, formando óxidos. Por possuírem o maior raio atômico do período tendem a perder o elétron facilmente.

Júrios COGNITIVOS: Os metais alcalinos (Na e K) apresentam maior reatividade frente a água. Os metais alcalinos possuem um elétron na sua camada de valência, tendendo cedo para alcançar estabilidade. Possuem maior raio atômico no período.

Transformação: A reatividade das reações aumentou na seguinte ordem: $Mg < Ca < Na < K$.

REPRESENTAÇÃO:
 $Mg(s) + 2H_2O(l) \rightarrow Mg(OH)_2(aq) + H_2(g)$
 PH baixo e a velocidade da reação foi baixa.
 $Ca(s) + 2H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(aq) + H_2(g)$
 PH mais baixo que a equação do Mg, e a reação foi mais rápida que a do Mg também.
 $Na(s) + 2H_2O(l) \rightarrow NaOH(aq) + H_2(g)$
 PH mais baixo que Ca e Mg, a reação foi mais rápida que a do Ca e Mg.
 $K(s) + 2H_2O(l) \rightarrow K(OH)_2(aq) + H_2(g)$
 PH muito baixo das 4 equações, a reação foi muito rápida pegando fogo e foi a reação com maior velocidade.

REGISTROS: Observando os metais em contato com a água, notamos que todos os metais utilizados reagiram formando óxidos e liberando hidrogênio. O PH ficou baixo para todas as reações.

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 44- Diagrama V do grupo (C e O), referente à reatividade dos metais alcalinos e alcalinos terrosos.

DIAGRAMA V

Domínio conceitual (Teórico)	Questões: foco: sobre os metais alcalinos (Na, K) e alcalinos terrosos (Mg, Ca)	Domínio Metodológico
<p>entre os filósofos gregos Platão: como eram que a matéria era constituída por pequenas partículas (átomos).</p>	<p>abundantes, quais a sua posição? Qual a sua reatividade? Qual a sua configuração eletrônica e as propriedades periódicas desses metais com a sua reatividade?</p>	<p>varios de valores: desde o aumento da reatividade de cada grupo até publicação com o raio atômico. Os metais das famílias 1A e 2A tendem a cedem elétrons da camada de valência, pois quanto maior o polo e mais fácil para que haja doação de elétrons.</p>
<p>Os filósofos queriam saber: como era o átomo e qual a sua estrutura? Inicialmente tomou-se a ideia de que o átomo era uma partícula indivisível, depois descobriu-se a existência de elétrons, mais para frente estudou-se que o átomo tinha um núcleo muito pequeno, depois acabou-se a ideia de elétrons se movem em torno do núcleo e por fim descobriu-se a teoria atômica contemporânea, onde não se pode a posição do elétron.</p>		<p>Quanto maior o raio atômico mais fácil a tendência a perder e, assim, maior será a reatividade.</p> <p>(a) Na e o átomo tem apenas 1e na camada de valência e é mais fácil de dar esse elétron, assim, reagente mais.</p>
<p>é impossível determinar com Modelo: posição e velocidade de um e nem mesmo existência e apresenta características dual, ou seja, comporta-se como matéria e energia, sendo de uma partícula e da função de onda indica que há probabilidade de encontrar e é em todas as direções (s), depende tanto da distância do núcleo quanto da direção na direção (p) da probabilidade da distância e de duas direções no espaço (d). Os números são principal (n), indica em qual nível de energia está o e, nº quântico secundário (l) em ou mais subníveis, nº quântico magnético (m) indica o orbital e nº quântico spin (s) indica a orientação do e no próprio nível.</p>		<p>Reação: Mg + 2HCl → MgCl₂ + H₂ ↑ Formação de hidróxido de magnésio, mudança de pH de magnésio.</p> <p>Na: dissolução completa e rápida, liberação de calor, liberação de H₂ e H₂ básico.</p> <p>K: altamente reativo, liberação de gás, dissolução rápida e completa com presença de chama e liberação de calor.</p> <p>Ca: altamente reativo, liberação de gás com formação de bolhas e dissolução completa.</p> <p>tilibra</p>
<p>Quanto maior o raio atômico mais fácil a tendência a perder e, assim, maior será a reatividade.</p>		<p>Transformação: K > Ca > Na > Mg (mais reativo para o menos reativo)</p>

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Os JUÍZOS COGNITIVOS dos demais grupos fundamentaram-se em: (a) apenas nos REGISTROS - Grupo (G, J e S); (b) uma relação entre a TRANSFORMAÇÃO e o lado conceitual, porém se tratou de uma resposta errada - Grupos (B e N) e (K e R) e (c) aspectos

do lado conceitual, mas não relacionando com a TRANSFORMAÇÃO - Grupos (A e E), (D, H e L) e (M e P). Exemplos de cada uma dessas construções são apresentados a seguir.

“O metal alcalino que apresenta maior reatividade frente a água é o K e alcalino terroso é o Ca. Conforme a sua eletropositividade o K é o mais reativo do que o cálcio, sódio e magnésio e conseqüentemente ele será o mais reativo, pois cede elétrons com mais facilidade que os outros elementos citados.” Grupo (F, I e Q)

“O potássio é o mais reativo e o alcalino terroso é o Ca, ele cede elétrons com mais facilidade que o cálcio, sódio e magnésio.” Grupo (G, J e S)

“Os metais alcalinos apresentam maior reatividade frente a água, pois possuem apenas um elétron em sua camada de valência, apresentando menor energia de ionização e maior eletropositividade.” Grupo (K e R)

“Dentre os metais alcalinos o potássio (K) possui maior reatividade frente a água. Já nos alcalinos terrosos o cálcio (Ca) possui maior reatividade frente a água. A configuração eletrônica fornece os níveis de energia, as orbitas no qual os números de elétrons se posicionam. Conseqüentemente nos fornecem as propriedades periódicas, tais como: energia de ionização, tamanho do raio atômico, sua eletropositividade que estabelece a ordem de reatividade dos metais.” Grupo (D, H e L)

“Dentre os alcalinos, o K apresenta maior reatividade com a água, dentre os alcalinos terrosos, o Ca. As propriedades desses metais nos permite saber qual reagiria mais com a água mesmo sem fazer o experimento, sendo essas propriedades a eletropositividade e a energia de ionização. Essas propriedades estão baseadas na configuração eletrônica do átomo que, por sua vez, também nos diz quem está com tendência de perder ou ganhar elétrons somente pela observação da camada de valência.” Grupo (A e E)

“1º Potássio (K); 2º Cálcio (Ca); 3º Sódio (Na); 4º Magnésio (Mg). A reatividade está relacionada ao tamanho do átomo e ao número de elétrons na camada de valência, quanto maior o raio maior a reatividade do átomo. A reatividade relacionada com a configuração eletrônica do átomo, nos informa sobre o número de e^- na camada de valência e distribuídos em subníveis. Com isso permite se o átomo tende a ganhar ou perder elétrons.” Grupo (M e P)

A partir dos JUÍZOS COGNITIVOS, obtiveram-se informações referentes à compreensão dos alunos sobre as relações reatividade/propriedades periódicas e reatividade/configuração eletrônica, ampliando as explicações apresentadas nos PRINCÍPIOS. A maior reatividade do potássio foi atribuída ao fato de os átomos desse metal apresentarem um raio atômico maior do que aqueles que constituem o metal sódio. A mesma compreensão

foi observada para o metal cálcio em comparação ao metal magnésio. Alguns alunos relacionam a reatividade com a eletropositividade e à energia de ionização, conforme já discutido.

A relação entre a reatividade e a configuração eletrônica revelou-se pela tendência maior ou menor em perder os elétrons de valência. Essa perda de elétrons pareceu estar associada ao atingimento de uma camada fechada, ou seja, à configuração eletrônica de gás nobre.

Os JUÍZOS DE VALOR atribuídos ao conhecimento produzido ocorreram de duas formas: (a) privilegiou-se a relevância prática ou (b) privilegiou-se a relevância teórica. Com relação à primeira, destacou-se a produção do grupo (A e E) na qual os alunos relacionaram o conhecimento da reatividade à escolha de metais para a realização de determinados experimentos. Na segunda, destacam-se as produções dos Grupos (C e O), (D, H e L) e (K e R) que relataram a relação entre a reatividade dos metais e as propriedades periódicas. A seguir, é apresentado um exemplo que caracteriza cada uma das formas, na ordem em que foram discutidas.

“A relevância que este experimento nos dá, baseou-se em saber qual metal usar quando tiver uma prática com água, sendo assim importante evitar o mais reativo. Com isso, tem-se uma eficiência melhor do metal utilizado e um resultado previamente planejado, só sendo isso possível com o conhecimento da reatividade dos metais.” Grupo (A e E)

“Os metais tem tendência a perder elétrons. Essa tendência faz com que eles apresentem alta reatividade, não sendo encontrados na forma livre, na natureza.” Grupo (K e R)

A análise dos “Vês” revelou que a maioria dos alunos, mesmo após o ensino, não apresentou em suas estruturas cognitivas os subsunçores, a estrutura da matéria e as propriedades periódicas, de forma clara e diferenciada. Isso foi identificado a partir das REPRESENTAÇÕES dos objetos (átomo do metal e seu respectivo íon), feita com base no MODELO quantomecânico do átomo e também das descrições desse modelo. A incompreensão das propriedades periódicas manifestou-se a partir das relações estabelecidas entre elas (energia de ionização, raio atômico e eletropositividade) e a reatividade dos metais.

4.2.2 Concepções dos alunos sobre ligações químicas

Antes da construção dos “Vês” que abordaram o tema ligações químicas, fez-se um levantamento das concepções dos alunos sobre a ocorrência destas. Para isso, utilizou-se a seguinte questão: “Quais são os fatores que determinam a ocorrência das ligações químicas?”. As respostas dos alunos foram analisadas e categorizadas conforme os critérios de análise descritos no capítulo 3, subtítulo “Metodologia de análise das questões de levantamento de concepções” e tópico “Ligações químicas” (p. 90). A classificação é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12- Concepções dos sujeitos de pesquisa referentes à ocorrência das ligações químicas, segundo as categorias de análise

Categoria de análise	Alunos
I- Antropomórfica	C e O
II- Regra do octeto	A, B, I, K, Q e R
III- Determinação periódica dos elementos	F, G, H, J, L, M e S
IV- Estabilidade energética	D, E e N
V- Em branco	P

Fonte: do autor.

A partir da Tabela 12, observou-se que a maioria das respostas foi classificada na categoria III (determinação periódica dos elementos). Para estes alunos, a ocorrência das ligações químicas é determinada pelas propriedades periódicas dos elementos químicos. A natureza de tal dependência não foi, contudo, evidenciada em grande parte das respostas.

Os alunos J, L, M e S citaram algumas das propriedades periódicas que consideram estarem relacionadas com a ocorrência das ligações químicas. Dentre elas, destacaram-se as seguintes: eletronegatividade; afinidade eletrônica; energia de ionização; raio atômico; raio iônico.

A explicação do aluno F para a relação existente entre as ligações químicas e as propriedades periódicas foi a seguinte: “*o que determina a existência de compostos é a “afinidade” que eles têm entre si, quanto mais “parecidos” forem os elementos que farão a ligação, maior será a interação e vice-versa. Essas “afinidades” são as propriedades da tabela periódica tais como: raio atômico, energia de ionização, reatividade, afinidade eletrônica, etc.*”. Essa construção revelou que a ligação química entre dois átomos ocorrerá se as propriedades periódicas dos referidos elementos químicos forem semelhantes.

A formação de uma ligação química não requer necessariamente que a condição proposta pelo estudante F seja satisfeita. De acordo com Duarte (2001), a união entre os átomos se dá em função da diferença de suas eletronegatividades. Desse modo, a capacidade de um átomo em atrair mais ou menos para si um átomo em dado composto está relacionada ao potencial de ionização (energia de ionização) e à afinidade eletrônica.

A não compreensão dos conceitos de eletronegatividade, de energia de ionização e de afinidade eletrônica pelos alunos, conforme revelado no estudo inicial e com a análise do primeiro “Vê”, pode explicar a dificuldade dos estudantes em compreenderem a relação entre tais conceitos e a ligação química. Desse modo, as concepções apresentadas podem ter sido resultantes de uma aprendizagem memorística ou significativa errônea.

A aprendizagem de natureza memorística foi evidenciada nas respostas em que se observou apenas a explanação de que existe uma relação entre as ligações químicas e as propriedades periódicas. Em contrapartida, a aprendizagem significativa errônea foi verificada na resposta do aluno F. Este, embora tenha apresentado uma explicação para a relação, ela se deu de forma incompatível com a literatura. Tais construções possivelmente resultaram de concepções errôneas envolvendo os conceitos subsunçores afinidade eletrônica, energia de ionização e eletronegatividade.

Outra concepção muito frequente nas respostas dos alunos foi relacionar a ocorrência das ligações químicas com a regra do octeto. Sobre essa concepção, Mortimer e Duarte (1994) destacam que a mesma é tida como um dogma para se explicar a estabilidade dos compostos químicos, deixando-se de lado os princípios mais gerais, relacionados às variações de energia envolvidas na formação das ligações químicas.

A ideia da regra do octeto como responsável pela estabilidade dos compostos esteve presente na resposta do aluno A, ao explicar a natureza da ligação química do $\text{NaCl}_{(s)}$. Segundo ele, “*O sódio tem um elétron em sua camada de valência, então tende a perder esse elétron para obter uma configuração de gás nobre.*”. A explicação fornecida por Mortimer e Duarte (1994) revela, contudo, que a estabilidade do $\text{NaCl}_{(s)}$ se deve à energia eletrostática entre o cátion Na^+ e o ânion Cl^- e reforçam ainda que tal estabilidade não se deve à tendência de adquirir um octeto completo.

Outras respostas que adotaram a regra do octeto como fator responsável pela ocorrência das ligações químicas são apresentadas a seguir:

“O que determina a ocorrência da ligação química dos átomos é o fato deles terem um determinado valor na sua última camada de valência, fazendo que ele ceda ou ganhe elétrons para ficar estável (com 8 e⁻ na última camada de valência).” (Aluno I)

“Todos os elementos buscam estabilidade, exceto os gases nobres que são altamente estáveis, talvez essa seja a maior razão para ocorrer as ligações.” (Aluno R)

A relação entre a ocorrência das ligações químicas e a estabilidade dos compostos em termos de energia foi apresentada apenas por 3 (dos 19) alunos. Essa relação foi expressa das seguintes formas:

“Uma ligação química acontece de modo que as energias envolvidas no composto sejam menores que a energia do átomo isolado, buscando portanto maior estabilidade.”

(Aluno D)

“Os fatores que determinam a ocorrência das ligações químicas podem ser a eventual estabilidade que os novos compostos formados adquirem. Na realidade para um átomo no seu estado fundamental ou gasoso se ligar o composto formado tem que ter a energia menor que o átomo no estado gasoso. Tem que haver um ganho energético satisfatório para o composto ser formado.” (Aluno E)

“A ligação química busca estabilidade em que o átomo tende a ser mais estável com menor energia que seu estado normal. A energia de rede, importante nas ligações iônicas favorece a ligação pois há liberação de energia.” (Aluno N)

Nessas respostas, os alunos relacionaram a estabilidade dos compostos com o abaixamento da energia do sistema em decorrência da formação de ligações químicas entre os átomos. Essa informação não foi, no entanto, suficiente para revelar se os estudantes compreenderam o efeito da energia na formação dos compostos, uma vez que a natureza dessa energia não foi identificada. Desse modo esperou-se obter informações mais precisas sobre essa compreensão com a análise do segundo diagrama V modificado da sequência, a partir do qual buscou-se compreender a estabilidade dos compostos iônicos.

Segundo Mortimer (1994) e Duarte (2001), a explicação para a estabilidade dos compostos químicos estaria associada ao abaixamento da energia potencial do sistema, quando a ligação química é formada. As explicações dos alunos poderiam ter sido mais detalhadas, ao se considerar a explicação de Atkins e Jones (2006) para o abaixamento da energia potencial. Este ocorre devido às interações eletrostáticas entre as cargas de sinais opostos, quando se tem íons ou como resultado das interações entre núcleos e elétrons dos pares compartilhados, quando não há formação de íons. Vale ressaltar, que os conceitos de ligação química e o de estabilidade energética, ainda se encontravam em construção, pelos alunos.

Com base na discussão do parágrafo anterior, pode-se afirmar que a compreensão do subsunçor energia é de grande importância para o entendimento da estabilidade dos compostos, pois ao se considerarem as ligações químicas, diferentes tipos de energia são abordados, como por exemplo, energia de ionização, afinidade eletrônica, energia potencial, energia de rede e energia de ligação.

A concepção antropomórfica esteve presente em algumas respostas. Nesse caso, os alunos consideraram que a ligação química resulta do cooperativismo entre os átomos que se ligam. Tal ideia foi identificada nas seguintes respostas:

“Ligação química é a tendência da junção de átomos onde conseqüentemente eles tendem a ficar estáveis.” (Aluno Q)

“As ligações químicas se devem ao fato de que a maioria dos elementos não encontra o equilíbrio por si só, ou seja, precisa ganhar ou receber elétrons para a condição de sistemas estáveis e esta necessidade pode ser completada por outro elemento e substância que estejam em situação inversa, esse “cooperativismo” entre elementos são chamados de ligações, que podem ocorrer de várias formas.” (Aluno C)

O levantamento das concepções dos alunos sobre a ocorrência das ligações químicas fez-se relevante, pois, segundo Ausubel; Novak e Hanesian (1980), os conhecimentos que os alunos possuem em suas estruturas cognitivas são os fatores que mais interferem na aprendizagem.

4.2.3 Análise do segundo diagrama V modificado

As QUESTÕES-FOCO propostas para o segundo “VÊ” foram: “Qual é a natureza da ligação química responsável pela formação do $\text{NaCl}_{(s)}$? Qual é o fator responsável pela sua estabilidade? Por que o $\text{NaCl}_{(s)}$ é um sólido quebradiço, solúvel em água e com altos pontos de fusão e de ebulição?”. Além de avaliar o conhecimento dos alunos referente à ligação iônica, buscou-se com essas questões identificar se houve alguma mudança nas concepções sobre a estabilidade dos compostos químicos, levantadas no subtítulo anterior.

A análise dos diagramas V iniciou-se pelo elemento CONCEITOS, isto é, pelos mapas conceituais. Embora os textos-base tenham sido elaborados com o objetivo de estabelecer pontes entre o conhecimento produzido no Vê anterior e aquele referente ao “Vê” seguinte, percebeu-se que pouco contribuiu para a seleção e organização dos conceitos. Isso pode estar relacionado ao não entendimento de alguns dos conceitos referentes ao “Vê” anterior, ou a falta de leitura do texto pelos alunos. Desse modo conceitos tais como rede cristalina, energia de rede, ponto de fusão, ponto de ebulição, solubilidade e dureza, não foram observados. Assim, a maioria dos mapas não levou às respostas das questões propostas e isso é indicativo de problemas conceituais. As pontuações dos 17 mapas analisados encontram-se na Tabela 13

Tabela 13- Pontuação dos mapas conceituais, referentes ao segundo diagrama V, do estudo final

Alunos	Critérios									
	Conceitos	Palavras de ligação	Proposição	Hierarquia	Segmentos	Ligações cruzadas	Exemplos	Q	Pontos	Q
A	12	4×3=12	3×1=3	3×5=15	2×5=10	0	()	1,0	52	52×1,0=52
B	1	(-)	1×1=1	2×5=10	4×5=20	()	()	1,0	32	32×1,0=32
C										
D	14	(-)	(-)	1×5=5	2×5=10	(-)	()	1,0	29	29×1,0=29
E	20	(-)	9×1=9	4×5=20	2×5=10	0	()	1,0	59	59×1,0=59
F	3	3×3=9	0	0	(-)	0	()	0,5	12	12×0,5=6
G	(-)	2×3=6	(-)	0	(-)	0	()	0,5	6	6×0,5= 3
H	12	0	(-)	(-)	(-)	(-)	()	0,5	12	12×0,5=6
I	0	(-)	(-)	(-)	2×5=10	(-)	()	0,5	10	10×0,5=5
J	9	3×3=9	(-)	2×5=10	(-)	(-)	()	0,5	28	28×0,5=14
K	7	2×3=6	2×1=2	1×5=5	1×5=5	(-)	()	1,0	25	25×1,0=25
L	13	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	()	0,5	13	13×0,5=6,5
M										
N	13	(-)	(-)	(-)	(-)	1×10=10	()	0,5	23	23×0,5=11,5
O	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	()	()	0,5	0	0
P	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	()	0,5	0	0
Q	(-)	(-)	(-)	1×5=5	(-)	()	()	0,5	5	5×0,5=2,5
R	4	(-)	(-)	1×5=5	(-)	(-)	()	0,5	9	9×0,5=4,5
S	9	0	20×1=20	2×5=10	2×5=10	2×10=10	1×1=1	1,0	60	60×1,0=60

Fonte: do autor.

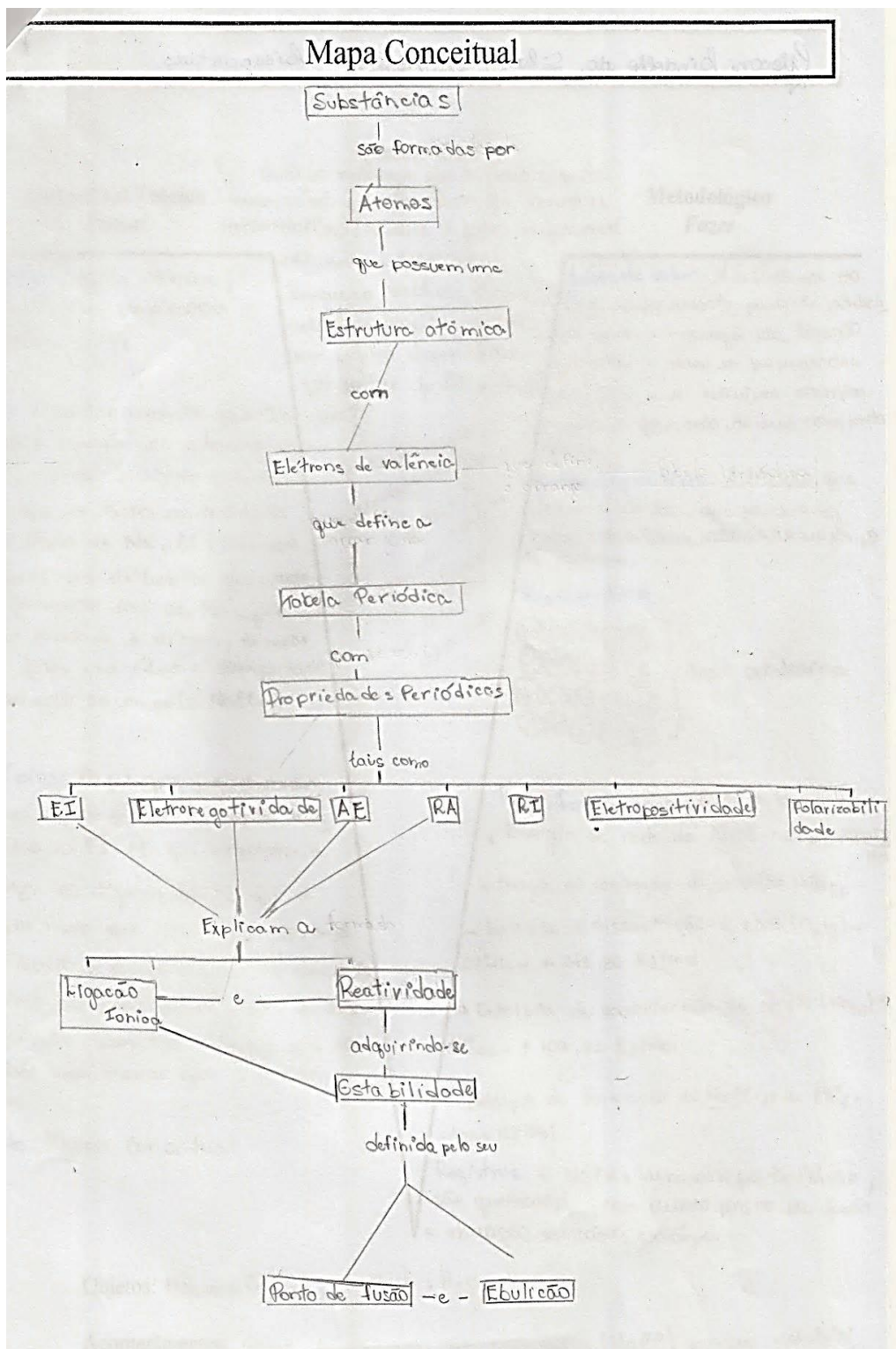
Nota: ¹ Os sinais (-) indicam que a soma dos fatores corretos e incorretos foi negativa, e desse modo não contabilizados. ² O símbolo () indica que os fatores ao qual se referem não foram identificados. ³ O valor zero indica que a soma dos fatores corretos e incorretos foi zero.

A partir dos dados da Tabela 13, percebeu-se que os valores atribuídos ao índice de qualidade Q não foi igual para todos os mapas. O valor de 1,0 foi atribuído aos mapas em que se observou um número maior de PROPOSIÇÕES, HIERARQUIAS, SEGMENTOS e LIGAÇÕES CRUZADAS válidas. E o valor de 0,5 foi atribuído àqueles em que tais critérios não foram suficientemente satisfeitos.

Vale ressaltar que nenhum dos referidos instrumentos recebeu o valor de 1,5 para o índice de qualidade, que é atribuído àqueles considerados excelentes. Isso não correu devido aos fatos de os mapas analisados não levarem às respostas das QUESTÕES-FOCO, pela ausência de conceitos-chave, pela presença de PROPOSIÇÕES com pouco significado. Além do mais, se podiam ler frases, a partir das relações estabelecidas entre os conceitos, como observado no mapa dos alunos D e N, Figuras 45 e 46, respectivamente. Esse tipo de construção contribuiu para a formação de PROPOSIÇÕES sem clareza e com erros conceituais. Os problemas identificados nos mapas dos alunos D e N podem estar relacionados ao treinamento, ainda que os mesmos não tenham a compreensão do significado

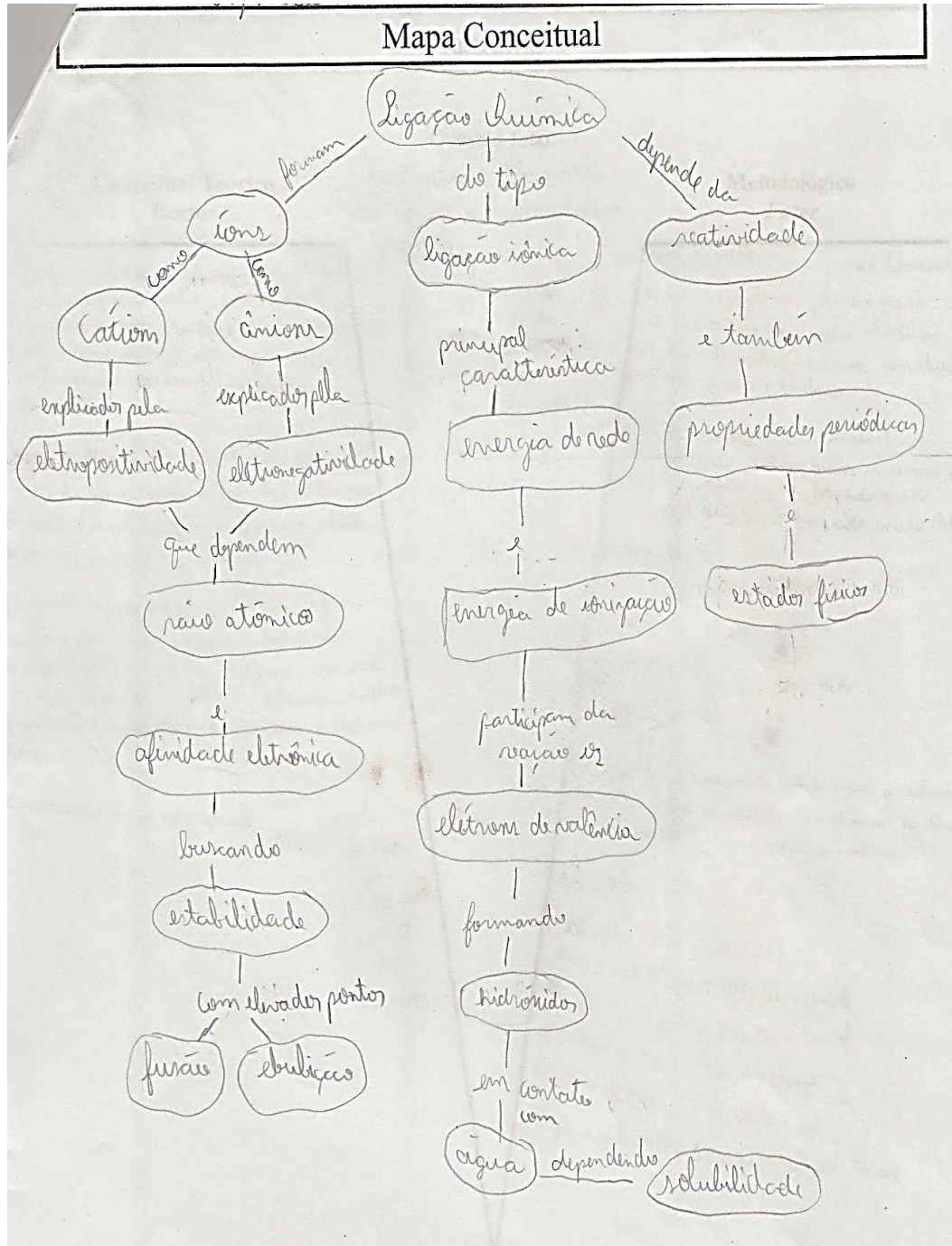
de muitos dos conceitos mapeados, como identificado com o primeiro “Vê” modificado. Quanto aos erros conceituais, pode-se dizer que estão associados à incompreensão dos conceitos abordados na questão-foco.

Figura 45- Mapa conceitual do aluno D, referente ao segundo diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 46- Mapa conceitual do aluno N, referente ao segundo diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

A partir dos valores apresentados na Tabela 13, calcularam-se os valores de \bar{x} (média) e σ (desvio padrão), por meio das equações 1 e 2 (p. 100). Com os dados obtidos, elaborou-se a Tabela 14. O valor calculado para a \bar{x} foi 18,59 e para o σ foi 20,77.

Tabela 14- Notas dos mapas conceituais, referentes ao segundo diagrama V, segundo a distribuição em torno da pontuação média

-22,95	-2,18	18,59	39,36	60,13
Abaixo da média		Média		Acima da média
0,5	0,75	1,0	1,25	1,5

Fonte: do autor.

Com base na Tabela 14, atribui-se aos mapas analisados os seguintes valores:

Aluno	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Nota	1,33	1,13	0,00	1,10	1,39	0,86	0,80	0,86	0,83	0,95
Aluno	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
Nota	1,30	0,89	0,00	0,92	0,73	0,73	0,77	0,82	1,45	

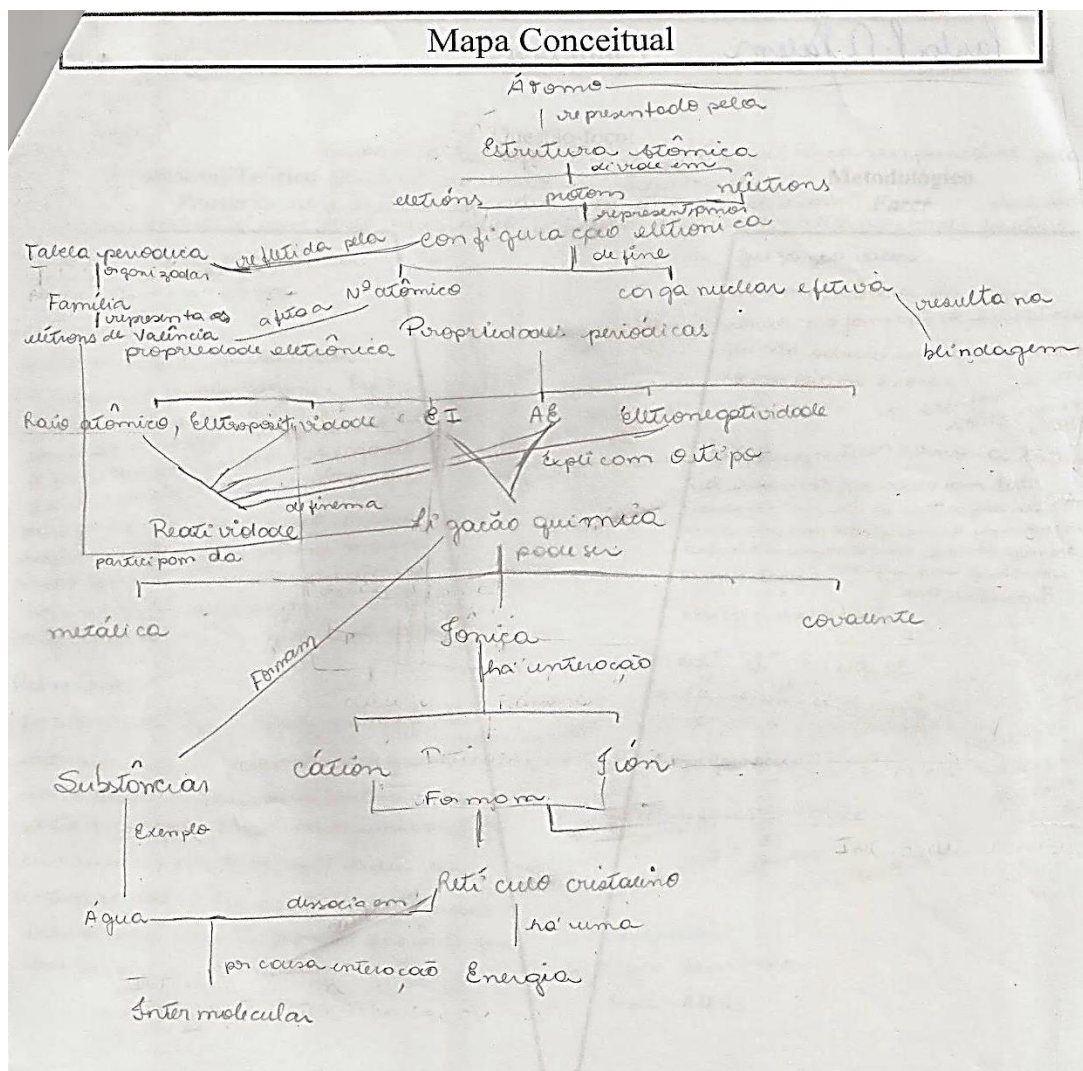
As pontuações atribuídas aos mapas revelaram que grande parte delas esteve bem próxima da média. Quanto aos dados qualitativos, revelados a partir dos critérios HIERARQUIA, LIGAÇÕES CRUZADAS e PROPOSIÇÕES, pode-se dizer que os aspectos classificatórios foram predominantes em relação aos outros hierárquicos, em decorrência da natureza do conhecimento químico avaliado. Na classificação, destacaram-se os tipos de propriedades periódicas e de ligações químicas. Em alguns mapas outros tipos de relações hierárquicas foram, contudo, observadas, como, por exemplo, aquelas observadas no mapa do aluno E, Figura 47.

No mapa do aluno da Figura 47, embora erros conceituais e proposições sem clareza tivessem sido observados, em decorrência do não entendimento de determinados conceitos e da experiência com a elaboração da ferramenta, buscou-se estabelecer uma relação hierárquica entre os conceitos mapeados. O conceito de átomo foi colocado no topo do mapa, fazendo-se entender que o mesmo foi considerado como o mais geral. A partir deste, ligaram-se os conceitos de estrutura atômica e de configuração eletrônica. Esta última consiste em uma das formas de se representar a estrutura do átomo, permitindo identificar o número de átomos, de prótons e de nêutrons.

O conceito de configuração eletrônica foi relacionado ao de tabela periódica. Apesar de a palavra de ligação utilizada não ter revelado de forma clara o significado da relação proposta, subentendeu-se que o aluno buscou expressar que a configuração eletrônica dos átomos pode ser obtida a partir da análise da tabela periódica, uma vez que o número de elétrons de valência do átomo coincide com o número da família à qual ele pertence. O conceito de propriedades periódicas foi colocado em uma hierarquia mais específica do que o

de tabela periódica. Não foi, todavia, estabelecida nenhuma relação entre os mesmos. Nesse caso, destacaram-se apenas os tipos de propriedades periódicas.

Figura 47- Mapa conceitual do aluno E, referente ao segundo diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

A partir dos tipos de propriedades periódicas, estabeleceram-se relações com os conceitos de ligações químicas e de reatividade, ambos foram situados em um mesmo nível hierárquico, porém mais específico de que o de propriedades periódicas. Estas permitem explicar as ligações químicas e a reatividade, revelando desse modo que houve uma reconciliação integradora entre os referidos conceitos. O conceito de ligação química, por sua vez, foi ligado ao de elétrons de valência, revelando que estes últimos participam da ligação, isto é, estão envolvidos nas transferências ou no compartilhamento.

A organização hierárquica apresentada no mapa do aluno E permitiu identificar o processo da diferenciação progressiva, revelando traços de uma aprendizagem significativa do

tipo subordinada. Esse tipo de aprendizagem, segundo Moreira (2010), é a mais comum, e nesse exemplo, consistiu na relação estabelecida entre os conhecimentos prévios (estrutura da matéria e propriedades periódicas) e a nova informação (ligações químicas).

Ao se fazer uma comparação entre o mapa conceitual elaborado pelo aluno E para o primeiro “Vê”, Figura 31 (p. 135) e aquele referente ao segundo (FIGURA 47), percebeu-se que a inserção de novos conceitos levou ao estabelecimento de relações mais significativas, isto é, não apenas classificatórias. Alguns dos erros conceituais percebidos no primeiro mapa permaneceram, no entanto, no segundo, como, por exemplo, considerar que todas as propriedades periódicas mapeadas explicam a reatividade dos elementos químicos. Isso forneceu indícios de que ocorreu uma aprendizagem significativa, conforme discutido nos parágrafos anteriores, contudo ela se deu de forma incorreta.

Com relação aos demais mapas conceituais referentes ao segundo “Vê”, as LIGAÇÕES CRUZADAS que apresentaram significado ocorrem preferencialmente entre os seguintes conceitos: ligação química/elétrons de valência; ligação química/reatividade/tabela periódica/propriedades periódicas; ligações químicas/afinidade eletrônica; e ligações químicas/energia de ionização. Ainda, assim, algumas das PROPOSIÇÕES formadas exibiram erros conceituais.

Dentre os erros conceituais observados, o mais comum foi citar a energia de ionização e a afinidade eletrônica como as propriedades periódicas que permitem explicar a reatividade. Isso revelou que a incompreensão dos alunos referente a tais conceitos, conforme discutido na análise do primeiro “Vê”, ainda não foi superada, pois a reatividade dos metais é explicada com base na eletropositividade, e como já comentado, a energia de ionização ou a afinidade eletrônica não podem ser tomadas como parâmetros para predizer a ordem de reatividade dos metais, mas podem ser utilizadas para explicar a natureza das ligações químicas.

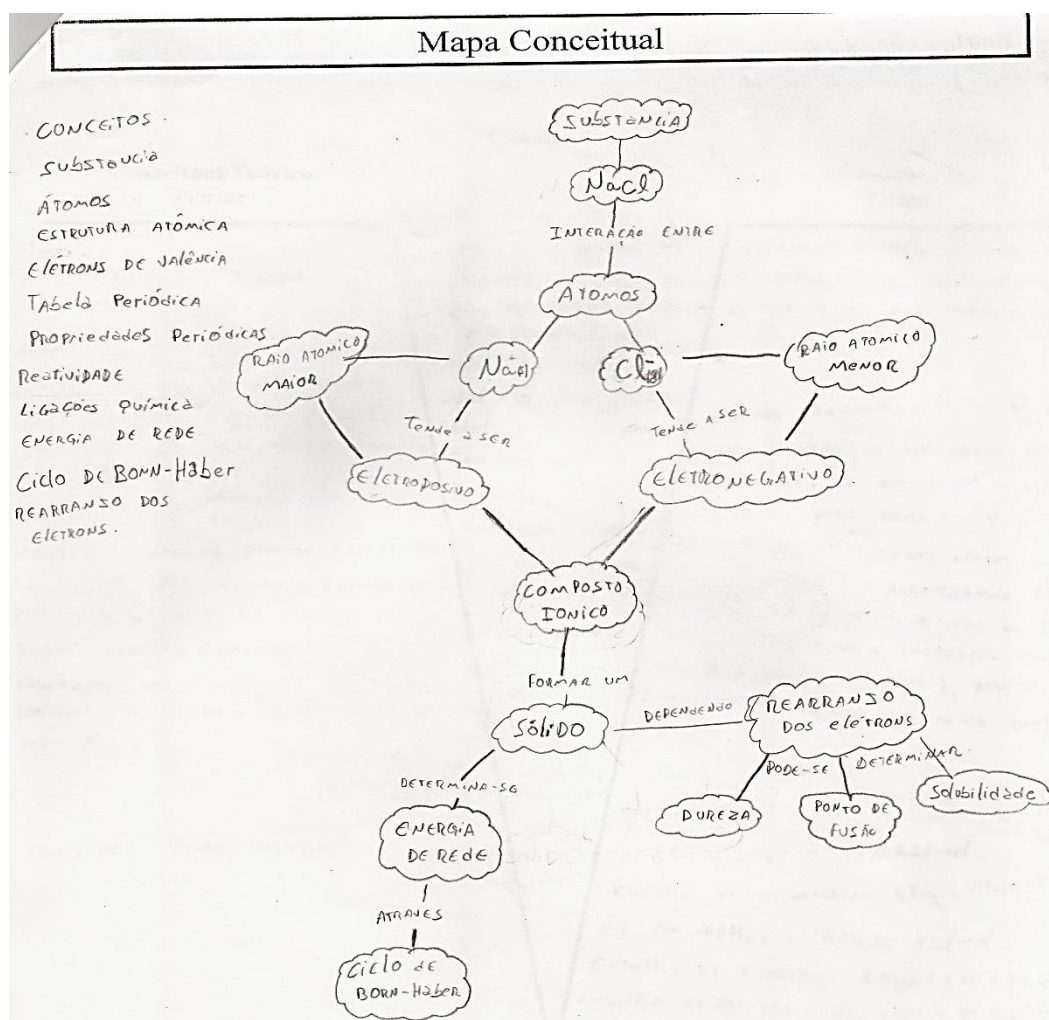
Exemplos de erros conceituais envolvendo o conceito de ligação química foram identificados a partir das seguintes PROPOSIÇÕES: “*Estabilidade definida pelo seu ponto de fusão.*” (Aluno D) e “*Ligações químicas dependem da reatividade.*” (Aluno R). Nesses casos, observou-se que o aluno D atribui à estabilidade dos compostos ao ponto de fusão e, o aluno R, justificou a ocorrência das ligações químicas em termos da reatividade. Esta última foi considerada, em muitos dos mapas, como um tipo de propriedade periódica.

A partir da análise dos mapas conceituais, pôde-se verificar que os alunos ainda continuaram a relacionar o conceito de ligações químicas ao de propriedades periódicas, como observado no levantamento de concepções apresentado no subtítulo anterior. Essas propriedades foram, contudo, identificadas como energia de ionização e afinidade eletrônica.

Vale destacar que, embora tenham sido feitas referências aos tipos de propriedades periódicas, o significado da relação entre estas e as ligações químicas não foi revelado. Esperava-se que os alunos destacassem a importância da energia de ionização e da afinidade eletrônica para a predição da natureza das ligações químicas.

Outro aspecto a ser discutido referiu-se às relações propostas entre os conceitos mapeados e o de ligação covalente. Quanto a este último, percebeu-se que a maioria dos alunos o relacionou apenas com o conceito de ligação química. A relação com outros conceitos foi observada em três mapas conceituais, elaborados pelos alunos E, N e P, apresentados, respectivamente, nas Figuras 47, 46 e 48.

Figura 48- Mapa conceitual do aluno P, referente ao segundo diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

A relação proposta pelo aluno N revelou que a ligação iônica resulta da interação entre íons e a formação de um retículo cristalino, que possui uma determinada energia. O aluno N

destacou que as principais características das ligações iônicas são a energia de rede e a energia de ionização. E, por fim, as PROPOSIÇÕES do aluno P demonstraram que os compostos iônicos são sólidos, cuja dureza, ponto de fusão e solubilidade dependem do rearranjo dos elétrons e que a energia dos mesmos pode ser determinada pelo ciclo de Born-Haber.

As discussões do parágrafo anterior sobre os mapas conceituais, forneceram informações relevantes sobre a aprendizagem dos alunos a respeito das ligações iônicas. Outros dados podem, contudo, ser obtidos a partir da análise dos demais elementos do “Vê”. A pontuação atribuída a cada um destes encontra-se na Tabela 15.

Os dados da Tabela 15 revelaram que a maioria dos alunos apresentou uma pontuação acima da média (4,31), ainda que esta tenha sido um valor baixo, se comparado com o valor máximo (10). Tais valores justificaram-se pelo fato de alguns alunos terem apresentado uma QUESTÃO-FOCO que não se referiu aos objetos e acontecimentos investigados; outros não descreveram uma TEORIA nem propuseram TRANSFORMAÇÕES.

Tabela 15- Pontuação dos diagramas V, referente ao segundo “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise

Alunos	Critérios											Total
	Questão-foco	Objetos e acontecimentos	Conceitos	Teoria	Modelo	Princípios	Registros	Transformações	Representação	Juízos cognitivos	Juízos de valor	
A	0,50	0,50	1,33	0,00	0,50	0,25	0,00	0,00	1,00	0,50	0,25	4,80
B	0,50	0,15	1,13	0,15	0,25	0,25	0,50	0,00	0,15	0,25	0,50	3,83
C												
D	0,50	0,50	1,10	0,15	0,50	0,25	0,15	0,00	1,00	0,50	1,00	5,65
E	0,50	0,50	1,39	0,00	0,50	0,25	0,35	0,00	1,00	0,50	0,50	5,49
F	0,50	0,50	0,86	0,00	0,25	0,25	0,15	0,20	0,50	0,50	1,00	4,71
G	0,50	0,50	0,80	0,00	1,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	4,05
H	0,50	0,50	0,86	0,15	1,00	0,25	0,15	0,50	1,00	0,50	0,50	5,91
I	0,50	0,50	0,83	0,00	0,00	0,25	0,15	0,20	1,00	0,50	0,25	4,18
J	0,50	0,50	0,95	0,00	0,25	0,25	0,50	0,00	0,15	0,25	0,25	3,85
K	0,25	0,15	1,30	0,00	1,00	0,25	0,50	0,35	1,50	0,25	1,00	6,55
L	0,50	0,50	0,89	0,15	0,50	0,25	0,15	0,00	1,00	0,25	0,25	4,44
M												
N	0,00	0,15	0,92	0,00	0,00	0,25	0,50	0,20	0,15	0,25	0,25	2,67
O	0,50	0,50	0,73	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	2,23
P	0,50	0,50	0,73	0,00	0,00	0,25	0,50	0,00	0,15	0,50	0,25	3,38
Q	0,50	0,50	0,77	0,25	0,25	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,25	2,82
R	0,25	0,15	0,82	0,15	0,25	0,25	0,50	0,35	1,00	0,50	1,00	5,22
S	0,50	0,50	1,45	0,15	0,00	0,00	0,15	0,00	0,15	0,50	0,25	3,65

Fonte: do autor.

A maioria dos alunos não fez menção a uma TEORIA que pudesse explicar a natureza das ligações químicas presentes no $\text{NaCl}_{(s)}$. Segundo Gonzalés García (2008), em alguns

casos, a teoria relacionada a um dado conhecimento pode não estar tão evidente para alunos ou para o professor, mas, ainda assim, é importante que o estudante compreenda que existe uma teoria que permite explicar o comportamento dos objetos/acontecimentos, contribuindo, assim, para a construção do conhecimento.

A dificuldade dos alunos em apontarem uma TEORIA para o acontecimento estudado pode estar relacionada ao ensino do professor. Em um dos trechos extraídos de uma aula introdutória sobre ligação iônica, fornecido a seguir, pode-se perceber que, durante a explicação do professor sobre o referido conteúdo da área da ciência Química, nenhuma teoria foi citada.

Professor: *O que caracteriza uma ligação iônica?*

Aluno F: *Transferência de elétrons.*

Professor: *A transferência de elétrons ocorre do átomo de iodo para o de bário?*

Coro: *Não.*

Professor: *Por que os elétrons são transferidos?*

Aluno H: *Por causa da eletronegatividade.*

Professor: *Como ocorre a transferência?*

Aluno H: *Do bário para o iodo.*

Aluno K: *Do bário para o iodo.*

Professor: *Além da eletronegatividade, existe outro fator?*

Aluno K: *Atingir octeto.*

Professor: *Atrair e arrancar são a mesma coisa? Isso está relacionado com a definição de eletronegatividade?*

Coro: *Não.*

Professor: *Quais são as propriedades periódicas associadas à configuração de gás nobre?*

Sem resposta.

Professor: *A afinidade eletrônica e a energia de ionização estão associadas à formação de íons. Porém, as demais propriedades periódicas também podem ser consideradas.*

Ao se estabelecer um paralelo entre o conhecimento revelado pelos alunos a partir da elaboração do “Vê” modificado e as explicações do professor, percebeu-se que a falha referente à TEORIA, esteve associada ao processo de ensino. Ainda que pelas explicações do professor não se tenha identificado uma TEORIA, o mesmo elaborou com os alunos um MODELO para a formação das ligações iônicas. Este foi revelado no elemento MODELO

apresentado no lado esquerdo do “Vê”. O aluno H relatou que: *“sabe-se que as ligações iônicas são oriundas das transferências de elétrons gerando íons do tipo X^+Y^- , onde X^+ representam os cátions que no caso é o Na^+ e Y^- representam o ânion que nesse caso é o Cl^- . Nesse tipo de ligação há perda e ganho de elétrons para a formação de compostos”*. Uma descrição semelhante a do aluno H, é descrita pelo aluno L: *“O composto é formado por uma ligação iônica através da transferência de elétrons, onde ocorre através da interação de dois ou mais elétrons.”*

A descrição do MODELO pelo aluno H consistiu no modelo eletrostático. Os conceitos de energia de ionização e afinidade eletrônica não foram, contudo, utilizados para explicar a formação de íons. Quanto a esses conceitos, pode-se destacar ainda, que alguns alunos permaneceram com as concepções alternativas observadas no estudo inicial. O aluno R, por exemplo, explicou a formação de íons com base nos conceitos de eletronegatividade e de eletropositividade. Segundo este estudante: *“dois átomos, um eletropositivo e um eletronegativo que pega um elétron para ambos se estabilizarem e formam um composto iônico.”*

O aluno A propôs uma explicação próxima a do R, ao dizer que *“a ligação iônica acontece entre um elemento eletropositivo e um eletronegativo, ou seja, um elemento que tenha tendência a perder elétrons e um elemento que tenha tendência a ganhar elétrons, respectivamente. Há uma transferência de elétrons entre as espécies envolvidas.”*. Ambas as construções levaram à interpretação de que as ligações iônicas são direcionais e sujeitas às mesmas regras que as covalentes. Nesse sentido, pode-se subtender que os compostos iônicos existem como moléculas discretas, uma vez que não foi feita referência à formação de um retículo cristalino.

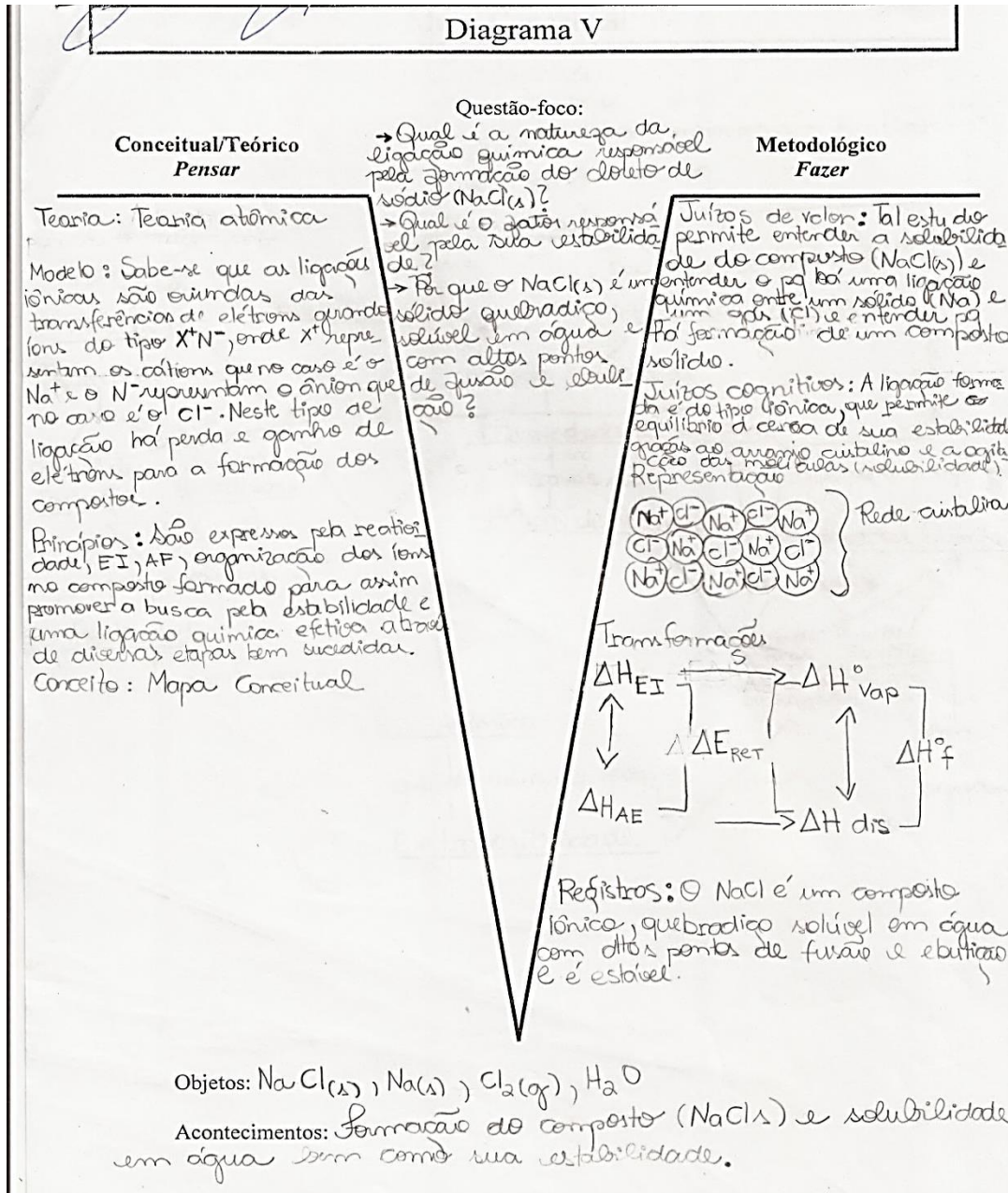
Embora em alguns MODELOS não se tenha citado a formação de um retículo cristalino, alguns alunos representaram a substância $NaCl_{(s)}$, segundo essa ideia. Um exemplo desse tipo de REPRESENTAÇÃO foi feito pelo H, Figura 49. Já os estudantes J, P e S, representaram a referida substância como moléculas discretas, além do mais os alunos não fizeram menção a íons, conforme pode ser visualizado nas Figuras 50, 51 e 52, respectivamente.

O aluno P identificou em seu desenho o composto $NaCl_{(s)}$ como uma molécula, reforçando a ideia discutida nos parágrafos anteriores. Segundo Duarte (2001), em um sólido iônico, tem-se uma carga positiva rodeada por cargas negativas e estas são rodeadas por cargas positivas e assim por diante. Esse MODELO contradiz a REPRESENTAÇÃO feita pelo estudante.

Na REPRESENTAÇÃO do aluno S, diferentemente do que foi observado para os alunos J e P, o átomo de sódio foi desenhado em um tamanho maior que o de cálcio. O mesmo foi percebido nas REPRESENTAÇÕES dos estudantes D e I, contudo os desenhos destes referiram-se ao retículo cristalino. A partir da Figura 49, percebeu-se que o aluno H não fez distinção entre o tamanho do íon sódio e do cálcio.

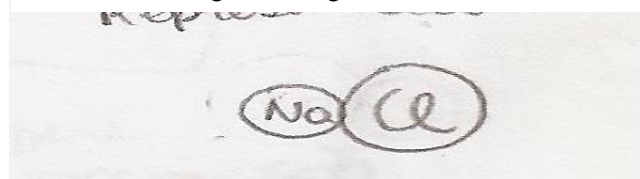
Ao estabelecer um paralelo entre o MODELO descrito para a ligação iônica e a REPRESENTAÇÃO do composto $\text{NaCl}_{(s)}$, percebeu-se em alguns casos que a elaboração desta última não foi fundamentada no primeiro, isto é, a REPRESENTAÇÃO da espécie química ocorreu em termos de moléculas discretas e o MODELO não apresentou elementos referentes às interações iônicas ou a REPRESENTAÇÃO se deu segundo o modelo eletrostático, mas a descrição deste não foi observada.

Figura 49- Diagrama V do aluno H referente à ligação iônica.



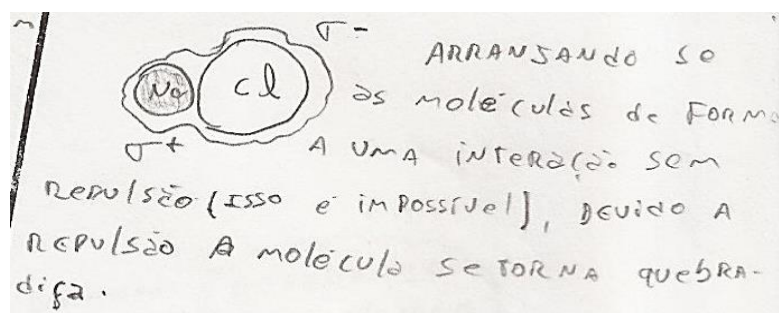
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 50- Representação do aluno J para o composto $NaCl(s)$, referente ao segundo diagrama V do estudo final.



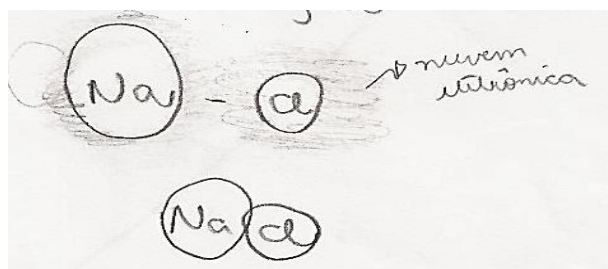
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 51- Representação do aluno P para o composto $\text{NaCl}_{(s)}$, referente ao segundo diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 52- Representação do aluno S para o composto $\text{NaCl}_{(s)}$, referente ao segundo diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

As dificuldades encontradas pelos alunos em estabelecer ligações entre o MODELO e a REPRESENTAÇÃO podem estar relacionadas à incompreensão dos conceitos de energia de ionização e de afinidade eletrônica, como identificado no estudo inicial. Tais conceitos são fundamentais para a compreensão dos processos de transferência de elétrons e a formação de íons, que permitem explicar o modelo eletrostático e as redes cristalinas. O não entendimento da relação entre as propriedades periódicas e as ligações químicas pode também explicar as PROPOSIÇÕES com pouco significado, ou com erros conceituais, envolvendo os referidos conceitos, observadas nos mapas conceituais.

A explicação para a formação da ligação iônica, considerando-se os elementos citados no parágrafo anterior, é fornecida por Duarte (2001). Segundo este autor, alguns elementos químicos tendem a doar seus elétrons mais facilmente (baixa energia de ionização), enquanto outros tendem a recebê-los (alta afinidade eletrônica), liberando energia. O processo de receber e de doar elétrons acarreta na formação de íons de cargas opostas que podem interagir uns com os outros formando uma ligação química.

A análise dos PRINCÍPIOS e das TRANSFORMAÇÕES forneceram mais informações sobre a aprendizagem de ligação iônica. Nos PRINCÍPIOS, os alunos buscaram explicar a estabilidade dos compostos iônicos. Tais explicações foram semelhantes às aquelas observadas no levantamento de concepções sobre as ligações, isto é, a estabilidade foi relacionada à regra do octeto (FIGURA 53) ou às propriedades periódicas (FIGURA 49), conforme os exemplos dos alunos A e H, respectivamente.

Figura 53- Diagrama V do aluno A, referente à ligação iônica.

Diagrama V

Questão-foco:

Conceitual/Teórico
Pensar

- Teoria:

- modelo:
A ligação iônica acontece entre um elemento eletropositivo e um eletronegativo, ou seja, um elemento que tem tendência a perder elétrons e um elemento que tenha tendência a ganhar elétrons, respectivamente. Há uma transferência de elétrons entre as espécies envolvidas, e, por isso, em solução aquosa, desprendem íons. Além disso, os compostos iônicos são sólidos, com elevados pontos de fusão e ebulição e no geral, quebrações devido a sua alta unidade, que é a menor parte do retículo cristalino.

- Propriedades: Os compostos iônicos são estáveis porque a transferência de elétrons é benéfica para ambos os elementos, estáveis.

- conceitos: substância, átomos, estrutura atômica, elétrons de valência, solvatação, propriedades periódicas, reatividade, ligação química, estabilidade, ponto de fusão, tamanho dos íons, caráter metálico, fusão, compostos, metálica, covalente, iônica, Octeto.

⊕ então conseguem atingir o octeto. Os sólidos são quebraçáveis e com elevado ponto de fusão por causa da formação do retículo cristalino e da entalpia de formação, respectivamente.

Objetos: NaCl , Cl_2 e NaCl .

Acontecimentos: como se dá a formação da ligação entre Na e Cl.

Metodológico
Fazer

- tipos de valores: É importante o conhecimento sobre a formação do NaCl por este ser um sal comumente utilizado no cotidiano.

- tipos cognitivos: A ligação química do NaCl é forte devido à sua entalpia de formação. Por causa dessa alta entalpia de formação, seu ponto de fusão e ebulição é alto visto que a "força" para separar esses átomos é elevada. *

- Representação: ligações entre NaCl.
 $\text{Na}_{(s)} - e^- = \text{Na}^+_{(s)}$
 $\text{Cl}_{(s)} + e^- = \text{Cl}^-$

Na \rightarrow Cl:
Na⁺ Cl⁻

Estrutura do retículo cristalino \leftarrow Na Cl

- Transformação:

⊕ A solubilidade em água se deve à dissociação dos íons em Na⁺ e Cl⁻. A natureza da ligação química do NaCl está explicada no processo de Born-Haber, junto com a explicação de sua estabilidade, uma vez que, para o composto ser estável, sua energia final deve ser menor que a energia dos seus átomos isolados.

Qual é a natureza da ligação química responsável pela formação do NaCl? Qual é o fator responsável pela sua estabilidade? Por que o NaCl é um sólido quebraçável, solúvel em água e com altos pontos de fusão?

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Embora as explicações da estabilidade dos compostos iônicos tenham sido dadas em termos das propriedades periódicas, a influência de uma sobre a outra não foi discutida. Esta foi apresentada pelos alunos A e R na descrição dos MODELOS, em que os mesmos se

utilizaram dos conceitos eletropositividade e eletronegatividade para explicar as tendências em “ceder” e “receber” elétrons. Como já discutido, são, contudo, a energia de ionização e a afinidade eletrônica que explicam a formação de íons. Tais ideias reforçam a incompreensão dos estudantes quanto à relação entre as propriedades periódicas e as ligações químicas.

A manutenção da concepção de que a estabilidade dos compostos químicos se deve à regra do octeto pode estar fundamentada nas explicações do professor, como observado no trecho, a seguir, referente a uma aula introdutória de ligações químicas.

Professor: *Por que os átomos se unem por meio de ligações químicas?*

Aluno N: *Por causa da estabilidade. Para ficar estável.*

Professor: *Os átomos se ligam para atingir uma configuração eletrônica de gás nobre.*

O professor concluiu a explicação da estabilidade, escrevendo no quadro, o seguinte princípio: “Uma ligação só será formada se a energia for favorável, ou seja, se o composto for estável e tiver menor energia que os átomos isolados.”. Ainda que o fator estabilidade tenha sido destacado, o mesmo não foi discutido em profundidade, ficando como um conhecimento memorizado, pois não se fez menção às energias envolvidas nem ao motivo pelo qual a energia do sistema será menor do que dos átomos isolados, após se formar a ligação. Este tipo de conhecimento foi observado nas respostas de alguns alunos à questão de levantamento de concepções sobre as ligações químicas. Além do mais, o professor reforçou em suas explicações a ideia da regra do octeto, ou seja, a estabilidade dos compostos está associada ao atingimento de uma camada de gás nobre.

A explicação para o abaixamento da energia do sistema quando ligações iônicas são formadas é apresentada por Duarte (2001) em termos da energia de rede. Segundo o autor, essa energia resulta da soma da interação de um íon com todos os outros, sendo ela atrativa ou repulsiva. Desse modo, a energia do sistema abaixa se a atração dos íons for maior do que aquela requerida para formá-los. A principal contribuição energética vem da energia de ionização do elemento que fornece o cátion (ATKINS; JONES, 2006).

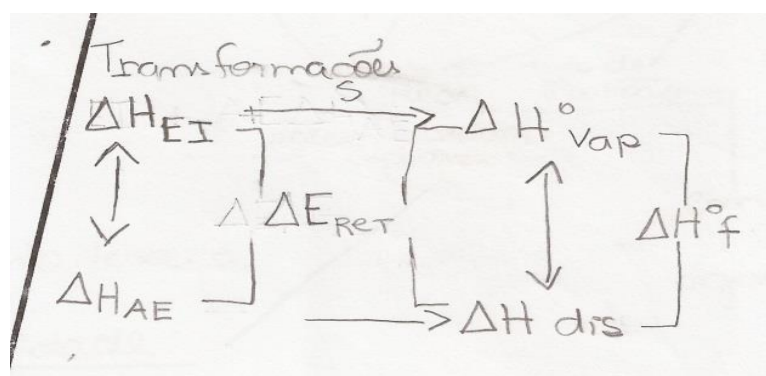
A partir dessas explicações, pode-se dizer que o entendimento da estabilidade dos compostos em termos de energia, está relacionado não só às propriedades periódicas, à energia de ionização e à afinidade eletrônica, mas também ao MODELO proposto para a ligação iônica, por meio do qual, se pode explicar também a natureza quebradiça do $\text{NaCl}_{(s)}$.

O conceito de energia de ionização e o MODELO proposto para a substância $\text{NaCl}_{(s)}$ explicam, por sua vez, os elevados pontos de fusão, de ebulição e de solubilidade do composto. O não entendimento desses pelos alunos não forneceu bases teóricas suficientes

para os mesmos elaborarem PRINCÍPIOS referentes às propriedades físicas do $\text{NaCl}_{(s)}$. O aluno A, por exemplo, explicou a força da ligação iônica em termos da entalpia de formação, sendo a mesma responsável pelos altos pontos de fusão e de ebulição do $\text{NaCl}_{(s)}$.

A incompreensão dos fatores energéticos, nos quais se inclui a energia de rede, envolvidos na formação dos compostos iônicos levou à não elaboração de TRANSFORMAÇÕES, como observado para a maioria dos casos, ou elaborações incompatíveis com a literatura foram apresentadas. Um exemplo desse tipo de construção foi proposta pelo aluno H, a partir da qual se buscou representar o ciclo de Born-Haber (FIGURA 54).

Figura 54- Transformação elaborada pelo aluno N, referente ao segundo diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

O ciclo de Born-Haber consiste em uma das formas possíveis de se calcular a energia de rede. Esta, por sua vez, consiste na energia liberada quando os íons se encontram na fase gasosa e distantes uns dos outros, de modo que não há interação entre eles, para que, assim, possam se aproximar e formar o sólido iônico (DUARTE, 2001). O entendimento desse ciclo requer que os alunos apresentem, em suas estruturas cognitivas, de forma clara, estável e diferenciada, os conceitos de energia de rede, de energia de ionização e de afinidade eletrônica. Percebeu-se, contudo, que tais conceitos não foram compreendidos pela maioria dos alunos, como vem sendo discutido ao longo das análises desde o estudo inicial. Desse modo, não foi possível a construção do ciclo de Born-Haber pelos estudantes.

Para a elaboração dos JUÍZOS COGNITIVOS, a maioria dos alunos considerou apenas os aspectos teóricos, relacionados principalmente aos elementos MODELO e PRINCÍPIOS. Além do mais, as construções não levaram às respostas de todas as questões-foco propostas. Estas evidenciaram apenas a natureza das ligações e a estabilidade do $\text{NaCl}_{(s)}$ e outras propuseram uma explicação para as propriedades físicas. Exemplos dessas

explicações foram apresentados pelos alunos A, E, I e L, conforme descrito nos trechos a seguir:

“A ligação química do NaCl é forte devido à sua entalpia de formação. Por causa dessa alta entalpia de formação, seu ponto de fusão e ebulição é alto, visto que a “força” para superar esses átomos é elevada. A solubilidade em água se deve à dissociação dos íons em Na^+ e Cl^- .”. (Aluno A)

“Com a interação de íons e cátions cada um há energia com eles se interagem a energia aumenta quando forma um sólido aumentando o ponto grande energia para quebrar essa interação.”. (Aluno E)

“O NaCl é um sólido que não tem uma energia suficiente para se manterem ligados em água, pois as moléculas de H_2O ligam-se com o NaCl “desfazendo-os”. Eles ficam estáveis porque há oito elétrons na camada de valência.”. (Aluno I)

“Através do rearranjo dos elétrons no composto e que possibilita explicar as propriedades macroscópicas, ponto de fusão, ponto de ebulição e solubilidade”. (Aluno L)

Para a explicação das propriedades físicas do $\text{NaCl}_{(s)}$, os alunos A, E e I, utilizaram o conceito de energia. A natureza desta energia foi, contudo, revelada apenas pelo aluno A, que a especifica como sendo a entalpia de formação. A explicação está baseada, porém, na energia de rede, pois esta consiste em uma medida da força de interação iônica no sólido cristalino. Conseqüentemente, quanto mais fortes forem as interações (energia de rede), mais alto será o ponto de fusão e de ebulição. A energia de rede também explica a dureza e a solubilidade, uma vez que estas envolvem a “superação” de forças atrativas (ATKINS; JONES, 2006).

O não entendimento do conceito de energia de rede e do ciclo de Born-Haber pode ter contribuído para a elaboração de JUÍZOS COGNITIVOS com erros conceituais ou incompletos, como observado nas construções dos alunos. Dentre os erros percebidos, destacaram-se os seguintes:

- a) a força da ligação iônica é determinada pela entalpia de formação;
- b) a interação entre os íons de cargas opostas leva a um aumento da energia do sistema.

Percebeu-se com a análise deste “Vê” modificado, a importância dos conhecimentos prévios para a aprendizagem dos alunos. A falta desses conhecimentos levou a uma série de lacunas conceituais acumulativas, que se iniciou com a ausência dos conceitos referentes ao modelo quântico e às propriedades periódicas, na cognitiva dos alunos. Posteriormente o problema envolveu a estabilidade dos compostos e sua relação com os aspectos energéticos, nos quais se destacou a energia de rede e o ciclo de Born-Haber.

As informações apresentadas no parágrafo anterior são úteis para regular o processo de ensino e de aprendizagem, pois o professor pode tomar ciência das dificuldades dos estudantes, e assim propor medidas para solucioná-las. Essas medidas podem, por exemplo, envolver a reorganização dos conceitos a serem ensinados, priorizando-se os processo de diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

A explicação do aluno I para a dissolução do $\text{NaCl}_{(s)}$ em água foi considerada incompleta, já que as energias envolvidas no processo não foram consideradas. O aluno L também apresentou uma explicação incompleta para as propriedades físicas do referido composto, uma vez que o mesmo apenas revelou que estas estão relacionadas com o rearranjo dos elétrons, sem fazer menção à estrutura cristalina e aos fatores energéticos.

Quanto aos JUÍZOS COGNITIVOS elaborados pelos demais, não se perceberam explicações para as propriedades físicas, mas apenas para a natureza e para a estabilidade das ligações presentes no $\text{NaCl}_{(s)}$. Tais explicações ocorreram de forma semelhante àquelas observadas na descrição do MODELO e nos PRINCÍPIOS. Os erros observados estão relacionados à incompreensão dos efeitos das propriedades periódicas na predição das ligações químicas. O aluno S, por exemplo, explicou a formação da ligação iônica como resultante da transferência de elétrons por um elemento mais eletronegativo.

Outro erro conceitual identificado nos JUÍZOS COGNITIVOS referiu-se à consideração do composto $\text{NaCl}_{(s)}$, como uma molécula. Isso ocorreu nas construções do aluno P que relatou o seguinte: “*o sal é formado devido a interação entre moléculas*”. Na REPRESENTAÇÃO (FIGURA 51) do mesmo, evidenciou-se que o estudante compreende que a referida substância é formada por moléculas discretas do tipo NaCl .

Dentre os JUÍZOS DE VALOR propostos, observou-se que a maioria dos alunos destacou que o referido estudo levou ao entendimento da natureza das ligações químicas e das propriedades dos compostos iônicos. O conhecimento revelado a partir dos “Vês” não foi, entretanto, suficiente para chegar a tais valores. Um exemplo disso foram os JUÍZOS DE VALOR elaborados pelo aluno H, apresentados a seguir:

“Tal estudo permite entender a solubilidade do composto ($\text{NaCl}_{(s)}$) e entender o pq há uma ligação química onde um sólido (Na) e um gás (Cl) e entender pq há formação de um composto sólido.”. (Aluno H)

Embora o aluno H tenha expressado que o estudo permitiu compreender como se dá a formação do $\text{NaCl}_{(s)}$ a partir das substâncias sódio e cloro, as TRANSFORMAÇÕES elaboradas pelo mesmo mostraram que tal conhecimento não foi produzido, uma vez que a construção do ciclo de Born-Haber se deu de forma incorreta.

O diagrama Vê revelou que a compreensão dos alunos referente à ligação iônica ainda esteve pautada na regra do octeto, de modo que os compostos são entendidos como moléculas discretas. Embora alguns alunos tenham expressado que as propriedades periódicas podem explicar a natureza das ligações, a contribuição das primeiras para a ocorrência destas últimas não foi apresentada. Isso pode estar associado à incompreensão dos alunos referente à estrutura da matéria e às propriedades periódicas, principalmente em relação à energia de ionização e à afinidade eletrônica.

4.2.4 Análise do terceiro e do quarto diagrama V modificado

O terceiro e o quarto diagramas V referiram-se às ligações covalentes. Estas foram abordadas segundo as teorias da mecânica quântica, como a Teoria da Ligação de Valência (TLV) e a Teoria dos Orbitais Moleculares (TOM).

A correção e as discussões sobre a aprendizagem dos alunos, obtidas a partir da análise dos “Vês”, serão apresentadas a seguir. Vale destacar que, para os diagramas 3, 4 e 5, foi elaborado um único mapa conceitual, referente ao elemento CONCEITOS. Desse modo, optou-se por apresentá-lo ao final da análise destes diagramas. Os valores atribuídos aos mesmos foram, contudo, contabilizados na pontuação dos “Vês”.

4.2.4.1 Terceiro Diagrama V

O terceiro diagrama V foi construído com base nas seguintes questões-foco: “Qual é a natureza das ligações S-S-S nos anéis S₈ de enxofre, e qual é a forma do anel? O enxofre é um sólido quebradiço, com baixo ponto de fusão e ebulição e insolúvel em água. Quais os fatores responsáveis por essas propriedades? Como essas propriedades podem explicar o fenômeno observado ao aquecer o enxofre fundido e posteriormente submetê-lo a um resfriamento em água?”. A partir dessas questões, buscaram-se obter informações sobre a natureza das ligações químicas presentes na substância enxofre e explicações para as propriedades físicas da mesma, como ponto de fusão, ponto de ebulição e solubilidade e como o conhecimento destas permite interpretar o acontecimento observado.

As pontuações atribuídas a cada um dos elementos do “Vê” são apresentadas na Tabela 16.

Os valores apresentados na Tabela 16 revelaram que dez diagramas V obtiveram uma pontuação abaixo da média (5,76). O valor da média foi, contudo, maior do que aquele observado para o diagrama anterior. A explicação para isso pode estar relacionada ao fato de os alunos terem identificado uma TEORIA e descrito um MODELO para explicar a ocorrência das ligações químicas presentes na substância enxofre. Outra contribuição foi a elaboração de JUÍZOS COGNITIVOS com base em aspectos teóricos (lado esquerdo do “Vê”) e metodológicos (REGISTROS e TRANSFORMAÇÕES). Em contrapartida, a média não foi um valor expressivamente alto, pois se observou que as REPRESENTAÇÕES não foram suficientes para explicar os OBJETOS estudados.

Tabela 16- Pontuação dos diagramas V, referente ao terceiro “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise.

Alunos	Critérios											Total
	Questão-foco	Objetos e acontecimentos	Conceitos	Teoria	Modelo	Princípios	Registros	Transformações	Representação	Juízos cognitivos	Juízos de valor	
A	0,50	0,50	1,40	0,50	1,00	1,00	0,50	0,35	1,50	1,25	0,25	8,75
B	0,50	0,25	0,83	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,25	0,50	0,25	5,58
C												
D	0,50	0,50	1,10	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	1,00	1,25	0,25	7,60
E	0,50	0,50	1,50	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	1,50	1,25	1,00	9,75
F	0,50	0,15	0,00	0,50	0,25	0,25	0,20	0,25	1,25	0,25	0,25	3,85
G												
H	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	1,50	1,25	0,25	7,00
I	0,50	0,50	0,93	0,50	0,25	0,25	0,25	0,20	0,25	0,25	0,25	4,13
J	0,50	0,50	1,15	0,50	0,50	0,25	0,50	0,15	0,25	0,25	0,25	4,80
K	0,50	0,50	0,80	0,50	0,50	0,25	0,50	0,35	0,25	1,25	0,25	5,65
L	0,50	0,50	0,89	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	1,25	0,25	0,25	7,14
M												
N	0,50	0,50	0,77	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	0,50	1,00	5,77
O	0,50	0,50	0,72	0,50	0,25	0,25	0,15	0,50	0,15	0,25	0,25	4,02
P	0,50	0,35	0,90	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,00	4,75
Q	0,50	0,50	0,72	0,50	0,25	0,25	0,15	0,20	0,25	0,25	0,25	3,82
R	0,50	0,50	0,85	0,50	0,25	0,25	0,15	0,50	0,50	0,50	0,25	5,00
S	0,50	0,50	0,95	0,50	0,50	0,25	0,15	0,20	0,25	0,50	0,25	4,55

Fonte: do autor.

O elemento CONCEITO será discutido com maior profundidade no subtítulo intitulado “Análise do mapa conceitual final”. Pode-se, todavia, salientar que, dentre os conceitos listados no “Vê”, destacaram-se àqueles referentes à estrutura da matéria, propriedades periódicas e aqueles relacionados ao diagrama, como ponto de fusão, ponto de

ebulição, solubilidade, ligação covalente, forças ou interações intermoleculares, hibridização e conceitos afins à polaridade.

Percebeu-se que nos mapas de alguns alunos a palavra TLV foi inserida, ou seja, buscou-se estabelecer relações a teoria que fundamenta as explicações das ligações covalentes e outros conceitos químicos. Esta teoria permite explicar a natureza das ligações presentes nas moléculas S_8 . Embora o modelo da repulsão dos pares de elétrons da camada de valência (VSEPR) permita explicar as formas das moléculas, a TLV fornece uma explicação para os ângulos de ligação e para os arranjos preditos pelo VSEPR, mediante o modelo da hibridização de orbitais atômicos, levando a uma melhor descrição da forma das moléculas (ATKINS; JONES, 2006).

A partir das discussões do parágrafo anterior, pode-se dizer que a compreensão da TLV requer o entendimento do modelo quântomecânico para a distribuição dos elétrons nas ligações. Para isso, os alunos precisam apresentar em suas estruturas cognitivas o conceito de orbital de forma clara, estável e diferenciada, pois este consiste no subsunçor do conceito de orbital híbrido, que é utilizado na explicação das ligações químicas de moléculas poliatómicas. Outra relevância do conceito de orbital está relacionada à definição da ligação covalente apresentada por Duarte (2001). Segundo este autor, tal ligação química resulta da sobreposição construtiva entre dois orbitais atômicos com um elétron cada.

Com a análise dos dados referentes ao estudo inicial e ao primeiro “Vê” modificado da sequência, percebeu-se que a maioria dos alunos ainda não apresentava claramente em suas estruturas cognitivas o modelo quântomecânico do átomo. Uma das explicações para isso foi a incompreensão dos conceitos de orbital e de energia. Esses conceitos podem ser considerados requisitos para a compreensão da TLV e para a interpretação da ligação química presente nas moléculas de enxofre. Nesse momento percebeu-se que os significados a serem atribuídos aos conhecimentos subsunçores (estrutura da matéria e propriedades periódicas) foram se tornando cada vez mais robustos exigindo dos alunos uma atividade cognitiva maior. Contudo, o ensino do professor não revelou tal processo, uma vez que os significados não foram em sua grande parte negociados. Isso refletiu na qualidade dos diagramas V modificados elaborados pelos alunos.

Na explicação da ligação covalente pela TLV, deve-se considerar também o conceito de elétrons de valência, uma vez que os orbitais atômicos envolvidos na ligação referem-se àqueles da camada de valência. Duarte (2001) afirma, todavia, que os elétrons mais internos podem participar das ligações ainda que de forma indireta, por meio da polarização dos orbitais de valência na direção da ligação. Essa explicação não foi, entretanto, fornecida aos

alunos durante o processo de ensino, de modo que não se esperou que os mesmos viessem a apresentá-la.

A análise dos diagramas V revelou que todos os alunos citaram a TLV como a TEORIA que permite explicar a natureza das ligações químicas presentes na molécula de S_8 e sua forma. Nem todas as descrições apresentadas para o MODELO estavam corretas. Mas, um pequeno grupo de estudantes os fez corretamente, conforme exemplificado a seguir.

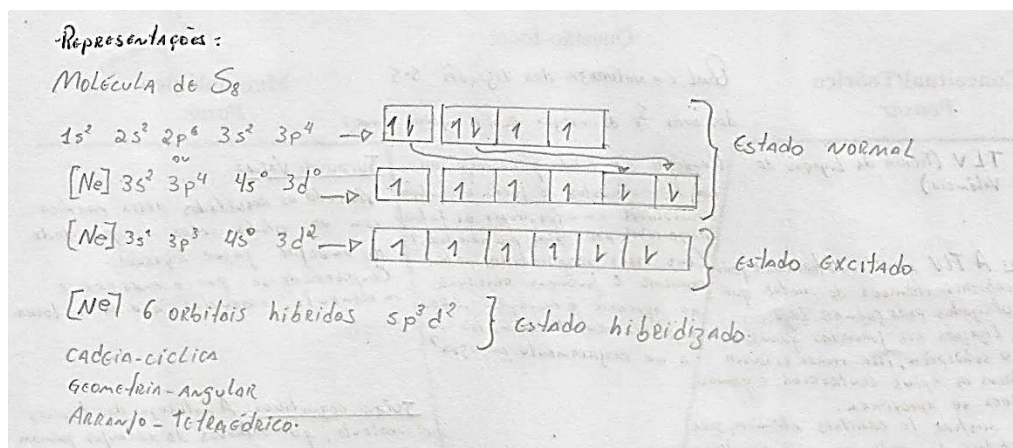
“A hibridização se caracteriza pela combinação dos orbitais, ou seja, a combinação das funções de onda de cada orbital, gerando um orbital híbrido. Portanto, o orbital híbrido que já foi formado apresenta um lóbulo maior que outro, caracterizando-se uma maior interação efetiva entre os orbitais. Por fim, os orbitais híbridos são direcionados a partir do átomo central e a forma da molécula é determinada através dessa direção que os orbitais apontam.” (Aluno D)

“A hibridização é a combinação dos orbitais atômicos, ou seja, combinações de funções de onda de cada orbital. Tem que haver dois elétrons de spin opostos e cada átomo contribui com um elétron. Quando há a mistura dos orbitais, os seus orbitais híbridos formados, ficam maiores, favorecendo a ligação química. A forma da molécula é determinada pela direção em que os orbitais da hibridização apontam.” (Aluno A)

“Essas ligações são formadas quando os orbitais se sobrepõem, isso ocorre se houver dois elétrons de spins contrários e quando os núcleos se aproximam. Essa mistura de orbitais atômicos gera novos orbitais de acordo com seu arranjo, isto é, o número de orbitais envolvidos na hibridização, é igual ao número de orbitais híbridos gerados, e os elétrons não ligantes continuam como pares isolados mesmo após a hibridização. Com isso, os orbitais híbridos são direcionados a partir do átomo central para o átomo terminal, favorecendo a sobreposição das densidades eletrônicas, formando assim uma ligação mais forte”. (Aluno B)

Embora tais descrições estivessem de acordo com a literatura, não se pode afirmar que os alunos entenderam o MODELO de ligação proposto pela TLV. Dados mais significativos puderam ser obtidos ao contrastar os MODELOS com a REPRESENTAÇÃO da molécula de S_8 . Ao se estabelecer um paralelo entre tais elementos do “Vê”, percebeu-se que o modelo da hibridização dos orbitais atômicos não foi compreendido pela maioria dos estudantes. Um exemplo disso foi a REPRESENTAÇÃO do aluno B, Figura 55.

Figura 55- Representação do aluno B para a molécula de enxofre S_8 , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

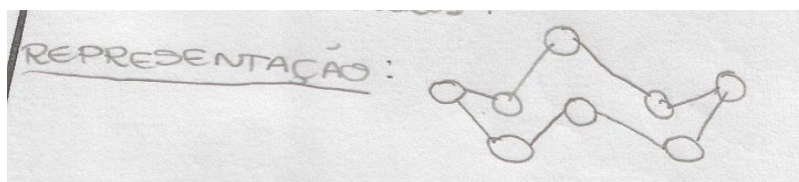
A análise da Figura 55 revelou que o aluno B, propôs uma representação para a hibridização dos orbitais atômicos, que permite explicar as ligações S-S-S e a forma de coroa do anel S_8 . A hibridização do tipo sp^3d^2 não explica, entretanto, tais ligações. Além do mais, a REPRESENTAÇÃO elaborada foi incompleta, pois não se evidenciou de que modo a hibridização pode explicar a formação da ligação em termos da sobreposição de orbitais, conforme sugerido na descrição do MODELO. REPRESENTAÇÃO semelhante a esta foi observada nos “Vês” dos estudantes N e P.

A hibridização proposta nas referidas REPRESENTAÇÕES não foi compatível com a geometria prevista para as ligações S-S-S. Isso revelou que os alunos não conseguiram estabelecer uma relação entre o modelo de hibridização dos orbitais em termos de “caixinhas” e a forma da molécula. Uma possível explicação para o ocorrido pode estar vinculado ao fato de que embora a representação de orbitais em “caixinhas” possa ter sido adquirida mediante uma aprendizagem memorística, o significado da mesma não foi ampliado pelos estudantes, pois os mesmos não conseguiram interpretá-la a partir de outros conceitos como o de geometria molecular, por exemplo.

A incompreensão do MODELO pode também estar relacionada à ausência do modelo quantomecânico para o átomo de forma clara, na estrutura cognitiva dos estudantes, conforme foi identificado no levantamento de concepções do estudo inicial e com a análise do primeiro “Vê”. Desse modo, pode-se dizer que a aprendizagem da nova informação (orbital híbrido) ocorreu de forma aleatória, isto é, sem relação com o subsunçor (orbital), já que este não estava disponível para a “ancoragem”.

A REPRESENTAÇÃO dos alunos F, I, J, Q e S para a molécula de S_8 ocorreu segundo o modelo de bolas e palitos, no qual cada bola representou um átomo e sua localização e os palitos representaram as ligações químicas. Segundo Atkins e Jones (2006), esse modelo, embora não revele muito sobre a forma da molécula, quanto o modelo de bolas, no qual os átomos são representados por bolas coloridas que se encaixam, é mais fácil de desenhar e interpretar. Dentro do contexto proposto para o “Vê”, a REPRESENTAÇÃO dos estudantes não evidenciou, contudo, a interpretação dos mesmos, para as ligações químicas e para a forma da molécula de S_8 , proposta pela TLV. O desenho do aluno Q, Figura 56, exemplifica essa conclusão.

Figura 56- Representação do aluno Q para a molécula de enxofre S_8 , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

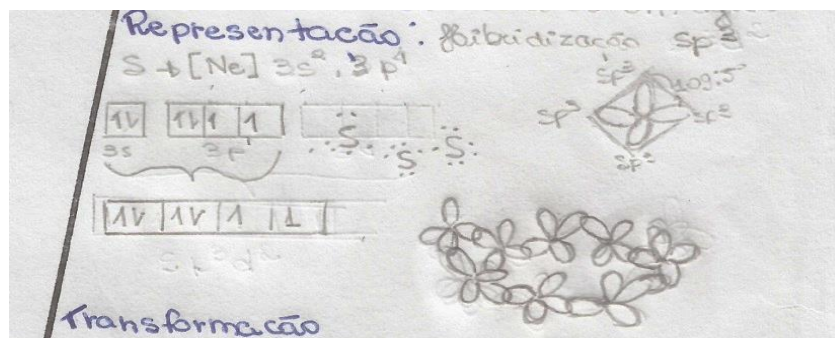
No desenho da Figura 56, a REPRESENTAÇÃO da molécula se deu em nível do modelo atômico de Dalton, no qual as ligações entre os átomos foram identificadas por um traço (ou palito) e os átomos por bolas. Entretanto, para que se tivesse uma interpretação segundo a TLV, dever-se-ia ter utilizado na REPRESENTAÇÃO, os princípios do modelo quantomecânico. Como por exemplo, aqueles observados nos desenhos dos alunos A, D, E, H, K, L e R. Estes fizeram uso do conceito de orbital híbrido, sp^3 , e da explicação de ligação covalente pela TLV.

Na REPRESENTAÇÃO dos alunos D e H, Figuras 57 e 58, respectivamente, percebeu-se que os mesmos propuseram uma explicação para a hibridização sp^3 com base no modelo de “caixinha”. Este mesmo modelo foi utilizado pelo aluno B (FIGURA 55), mas a hibridização apresentada (sp^3d^2) não permitiu explicar a geometria das ligações S-S-S e, a forma de “coroa” da molécula de S_8 .

Outro ponto a ser destacado, ao se comparar as REPRESENTAÇÕES dos alunos D e H com a do B, foi que os primeiros atribuíram significado ao modelo de “caixinhas”, ao utilizá-lo para prever a distribuição dos orbitais híbridos, obtidos a partir da combinação de orbitais atômicos de valência dos átomos de enxofre, os quais participarão das ligações químicas. Desse modo, pode-se interpretar a ligação covalente como sendo resultante da

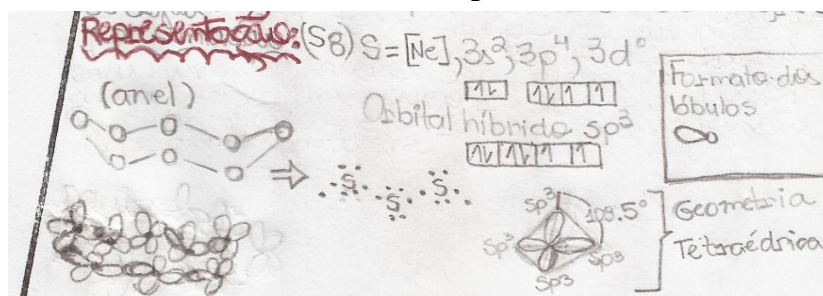
sobreposição de dois orbitais sp^3 , com elétron desemparelhado, de dois átomos de enxofre (S) adjacentes.

Figura 57- Representação do aluno D para a molécula de enxofre S_8 , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 58- Representação do aluno H para a molécula de enxofre S_8 , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

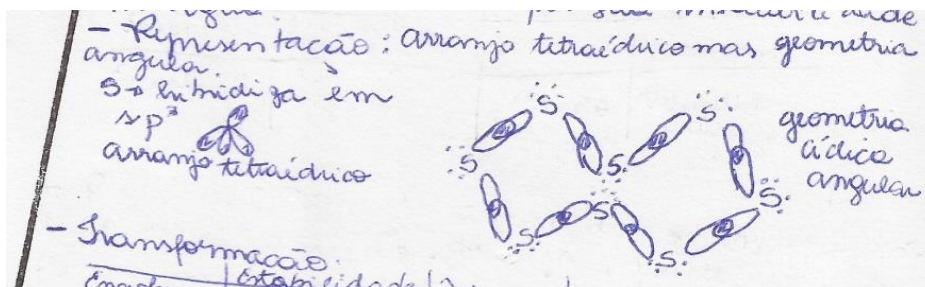
A partir da hibridização sp^3 , explica-se também a forma de “coroa” da molécula de S_8 . A explicação para essa ligação é dada em termos dos ângulos de ligação, como previsto pela TLV. De acordo com Lee (2006), devido aos dois pares de elétrons não-ligantes presentes em dois dos quatro orbitais híbridos sp^3 ocuparem um espaço maior entre os pares compartilhados da ligação, os ângulos das ligações S-S-S não são exatamente aqueles esperados para os ângulos do tetraedro, pois tais elétrons forçam a diminuição do ângulo de ligação.

A partir da REPRESENTAÇÃO do aluno D, na qual uma parte da molécula de S_8 foi desenhada segundo a estrutura de Lewis, pode-se perceber que esta é fornecida naturalmente pela TLV. De acordo com Duarte (2001), isso ocorre devido ao fato de a TLV se fundamentar no compartilhamento de elétrons.

Nos desenhos dos alunos A, E e R, Figuras 59, 60 e 61, respectivamente, a REPRESENTAÇÃO da molécula de S_8 se deu em termos do modelo da TLV. No entanto, os estudantes representam apenas os orbitais híbridos que apresentam os elétrons

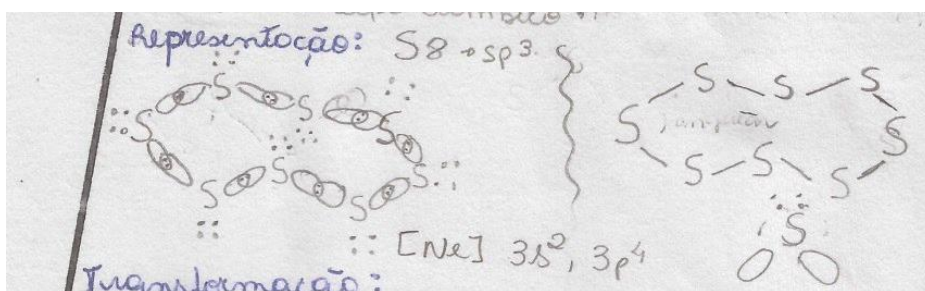
desemparelhados. Além do mais, o modelo de “caixinhas” não foi utilizado para explicar a formação dos orbitais híbridos sp^3 , a partir dos quais se pode prever a forma das moléculas de enxofre.

Figura 59- Representação do aluno A para a molécula de enxofre S_8 , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.



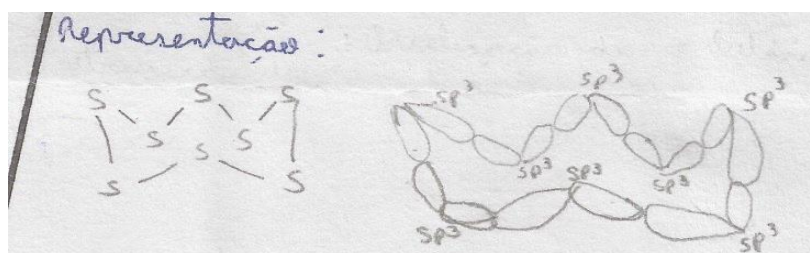
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 60- Representação do aluno E para a molécula de enxofre S_8 , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 61- Representação do aluno R para a molécula de enxofre S_8 , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.

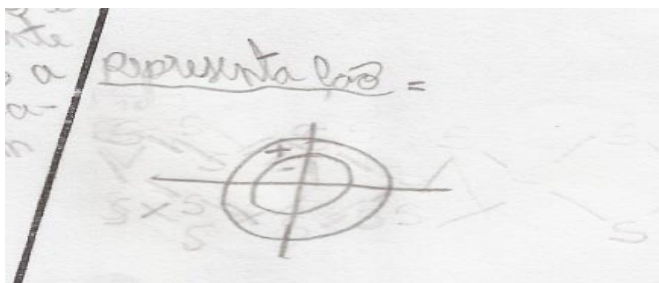


Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

A representação da molécula de S_8 , utilizando-se as ideias de superposição de orbitais e orbitais híbridos, foi observada para os alunos que, no primeiro diagrama V, apresentaram uma noção do modelo quântico para o átomo. Tal conhecimento como discutido no início desse subtítulo é importante para a compreensão das ligações covalentes segundo o modelo quântico.

Ao estabelecer um paralelo entre a REPRESENTAÇÃO do aluno O, para os átomos de sódio, potássio, cálcio e magnésio, referentes ao primeiro “Vê” com a REPRESENTAÇÃO da molécula de S_8 (FIGURA 62), percebeu-se que nenhuma relação foi estabelecida entre a nova informação e o conhecimento prévio, pois no primeiro caso, o aluno revelou ter conhecimento sobre o modelo quantomecânico, ainda que tenha se tratado de uma ideia incompleta. Tal conhecimento não foi, contudo, elaborado e diferenciado de modo que o estudante não conseguiu fazer uso do mesmo para propor uma REPRESENTAÇÃO com base na TLV.

Figura 62- Representação do aluno B para a molécula de enxofre S_8 , referente ao terceiro diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

A incompreensão da ligação química em termos do modelo da TLV pode estar relacionada ao fato de que, ao ensinar a referida teoria, o professor não tenha levado em consideração o modelo quantomecânico que os alunos apresentavam em suas estruturas cognitivas. Conforme salientado na análise do primeiro “Vê”, muitos desses estudantes possuíam concepções alternativas a respeito do referido modelo. Além do mais, os conceitos subsunçores não foram resgatados durante o processo de ensino, de modo que não se evidenciaram possíveis relações entre esses conhecimentos e a nova informação.

Outro contributo para a incompreensão do esclarecimento da ligação covalente pela TLV relacionou-se ao não entendimento dos fatores energéticos envolvidos na hibridização de orbitais atômicos, conforme revelado no discurso a seguir.

Aluno N: *Para mudar de caixinha eu preciso de energia?*

Professor: *Sim, para a promoção do elétron há um gasto energético, mas a possibilidade de formar duas ligações compensa este gasto.*

Aluno N: *A formação do orbital híbrido interfere na geometria?*

Professor: *A hibridização explica a geometria.*

A partir do discurso, pode-se perceber que o significado da promoção de elétrons não foi compartilhado, pois o gasto energético e a compensação deste não foram explicados. Para que isso fosse possível, deveria ter sido estabelecida uma relação entre o ganho energético e a ocupação de orbitais atômicos de maior energia. Nesse sentido, seria necessário retomar com os alunos o modelo quantomecânico do átomo e considerar o princípio de que os orbitais atômicos apresentam energia quantizada e, à medida que seu número quântico aumenta, a energia também aumenta. Essa explicação justificaria o ganho energético e a formação da ligação explicaria a compensação energética.

Outro ponto que mereceu destaque foi o entendimento do aluno sobre a relação entre a hibridização e a geometria. Para o entendimento desta, seria necessário estabelecer uma transição do modelo de “caixinhas” para o de orbitais, isto é, do modelo quantomecânico para o átomo. As explicações do professor ocorreram, contudo, segundo o modelo de “caixinhas”, dificultando, assim, a interpretação da geometria segundo a hibridização.

A partir dos PRINCÍPIOS, obtiveram-se mais informações referentes à aprendizagem dos alunos sobre a ligação covalente. As construções dos estudantes F, J, Q e S revelaram que as explicações para as ligações químicas ainda foram dadas pela regra do octeto. Segundo o aluno S, *“quando uma ligação é formada ocorre o compartilhamento de e^- até que todos tenham atingido a configuração de gás nobre”*.

Outra concepção observada nas explicações da ligação covalente foi a antropomórfica. Nesse caso, a ligação química resulta da tendência dos átomos em perder seus elétrons, como apresentado pelo Aluno Q: *“a ligação covalente ocorre quando os dois átomos tem a mesma tendência de ganhar e perder elétrons. Sob essas condições a transferência total de elétrons não acontece, ficando assim os elétrons compartilhados. Em suma, o par de elétrons compartilhados em qualquer ligação covalente atua como uma espécie de “cola” para unir os átomos.”*

A partir da construção do aluno Q percebeu-se que, para o mesmo, os elétrons são igualmente compartilhados pelos átomos, em uma ligação covalente, e sendo esta entendida como uma entidade física, isto é, consiste em uma “cola” que mantém os átomos unidos e os elétrons se encontram provavelmente estáticos. Tal concepção pode estar vinculada ao não entendimento do conceito de eletronegatividade e do modelo quantomecânico do átomo.

Segundo o modelo da TLV, os elétrons de uma ligação (σ ou π) são encontrados em uma região de probabilidade, em orbitais localizados entre os núcleos dos átomos que se ligam. Desse modo, não são estáticos ou funcionam como “cola”, pois os elétrons de uma

ligação se movem devido aos núcleos dos dois átomos ligados e à interação eletrostática elétron-elétron (DUARTE, 2001).

Outras duas concepções presentes na definição de ligação química nos PRINCÍPIOS foram aquelas relacionadas às propriedades periódicas e à energia. Com relação à primeira delas, percebeu-se que os estudantes remeteram aos conceitos de energia de ionização, de afinidade eletrônica e de eletronegatividade, como observado nos exemplos a seguir:

“As ligações covalentes se definem pela alta energia de ionização e baixa afinidade eletrônica”. (Aluno A)

“As ligações covalentes ocorrem quando há dois elementos com caráter eletronegativo”. (Aluno L)

“A ligação entre o S-S é covalente, pois possuem alta energia de ionização e alta afinidade eletrônica”. (Aluno K)

“As ligações covalentes acontecem quando há dois elementos com caráter eletronegativo, ou seja, altas energias de ionização e baixa afinidade eletrônica.” (Aluno A)

“Forma uma ligação covalente, pois possui alta afinidade eletrônica e alta energia de ionização”. (Aluno R)

Embora os alunos tenham apresentado uma explicação para a natureza da relação entre a ligação covalente e as propriedades periódicas, tal conhecimento ainda não foi compreendido, pois os estudantes atribuíram a alta energia de ionização e a baixa afinidade eletrônica à ligação química ou aos elementos químicos e não ao composto formado. Outro fator relevante foi considerar que a ligação covalente ocorre entre elementos com caráter eletronegativo. Não se identificou, contudo, nenhuma referência ao efeito desta propriedade periódica para se formar a ligação química.

De acordo com Duarte (2001), o compartilhamento de elétrons de valência por dois átomos ocorre em detrimento da formação de uma substância que geralmente apresenta energia de ionização maior e afinidade eletrônica menor do que dos átomos isolados. Isso resulta na estabilidade do composto químico formado. Uma construção semelhante a essa foi apresentada pelo aluno H, conforme pode ser identificado no diagrama V, da Figura 63.

Figura 63- Diagrama V do aluno H, referente à ligação covalente (substância enxofre).

Diagrama V

Questão-foco:

Conceitual/Teórico
Pensar

Teoria: Teoria de Ligação de Valência.

Motivo: Hibridização dos Orbitais Atômicos (OA) permite explicar a geometria da molécula, visto que a formação de orbitais híbridos dá-se pela mistura de dois orbitais atômicos, através da combinação de suas funções de onda, que visam a diminuição da energia própria do tal modo a minimizar as repulsões existentes entre as ligações.

Princípios: As ligações covalentes são resultantes do compartilhamento de elétrons entre as espécies químicas envolvidas, onde os átomos, ditos iguais, unem-se para que possam compartilhar os elétrons das camadas de valência. Assim, podem caracterizar o composto formado como tendo alta E.I. e baixa A.E. pós diante de tais propriedades o composto formado adquire muita estabilidade. Em geral os elétrons não tendem a escapar do sistema. Em geral os compostos covalentes possuem P.F. e P.E. baixos, o que pode ser explicado por exemplo, pela formação das moléculas e pelas forças intermoleculares. Possuem baixa resistência o que explica o fato de serem sólidos quebradiços e sua polaridade pode dizer quanto a sua solubilidade em água.

Conceitos: Átomo, núcleo, prótons, nêutrons, elétrons, orbitais, compartilhamento, camada de valência, ligação covalente, molécula, geometria, eletronegatividade, polaridade, polaridade, compostos, P.F., P.E., massa molar, forças intermoleculares, quebradiços, solubilidade.

Objetos: Enxofre (S₈)

Acontecimentos: Combustão do enxofre (S₈) e a sua solidificação em água.

Qual é a natureza das ligações S-S das moléculas S₈ de enxofre e qual é a forma da molécula?

O enxofre é um sólido quebradiço, com baixos pontos de fusão e ebulição e insolúvel em água. Quais os fatores responsáveis por essas propriedades? Como essas propriedades podem explicar o fenômeno observado ao aquecer o enxofre fundido e posteriormente colocá-lo a um resfriamento em água?

Metodológico
Fazer

Tipos de Valor: Entender a natureza das ligações químicas, em particular as ligações covalentes, bem como suas propriedades físicas e químicas, atendendo para sua organização no espaço, a sua geometria molecular.

Julgos Cognitiva: O enxofre (S₈) é um composto covalente organizado em um anel cúbico. Apresenta duas formas alotrópicas: que se diferenciam apenas pela disposição de seus arranjos, sendo o enxofre romboidal e o monoclínico (S₈). Quando queimado o enxofre (s) (sólido a temperatura ambiente) tem suas estruturas desorganizadas, pois o enxofre que se sublima solidifica na forma monoclínica, que aos poucos passa a forma alotrópica, o que explica a formação de uma massa uniforme, quando o mesmo é resfriado em água. Apresenta baixos P.F. e P.E. que pode ser explicado por ser um composto discreto, com moléculas pequenas, já que a presença de moléculas mais do tipo, devido à presença de forças intermoleculares, uma base de interação, podem causar ruídos eletrônicos. São compostos sólidos, cristalinos, graças à sua baixa temperatura de fusão em água, por causa da diferença na natureza das polaridades entre o enxofre e a água.

Representação: (S₈) S = [Ne], 3s² 3p⁴, 3d⁰

(anel)

Orbital híbrido sp³

Geometria Tetraédrica

Formato dos átomos

TE: Temperatura de Ebulição
TF: Temperatura de Fusão

COMPOSTO	ESTABILIDADE	TE (°C)	TF (°C)	RELEVÂNCIAS
Enxofre (s)	estável à temp. ambiente	444,6	112,8	crystal transparente obedientes
Enxofre (l)	instável a temp. ambiente	444,6	119,0	crystal turvo-pare refrações.

Registro: O enxofre anidro se liquefaz, observando-se uma mudança de cor, passando de amarelo claro para um tom escuro, evidenciando uma transformação. Em contato com água o enxofre em combustão se solidifica.

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

A elaboração de PRINCÍPIOS, com pouco significado ou com erros conceituais, envolvendo a relação entre as ligações químicas e as propriedades periódicas, pode estar associada à concepção de que as ligações químicas se explicam pela regra do octeto. Ou ainda, conforme vem sendo discutido, tal incompreensão pode ser oriunda do não entendimento dos conceitos necessários para a interpretação da mesma. Assim, embora os alunos proponham novas explicações para a estabilidade e para a ocorrência das ligações

químicas, o significado destas não está claro em suas estruturas cognitivas, como observado na construção do aluno B. Segundo ele, na formação da ligação covalente, *“ocorre uma liberação de energia quando um átomo recebe um elétron, por esse motivo a afinidade eletrônica geralmente é negativa”*.

Outra definição clássica apresentada pelos estudantes para a ligação covalente foi a de que esta ocorre entre átomos de não-metais, conforme destacado pelo aluno F: *“a ligação covalente ocorre quando dois átomos compartilham um par de e^- para se estabilizarem, formando compostos moleculares. Esta ligação é feita com átomos de não-metais com não-metais. Os elétrons que participam desta ligação são os elétrons de valência, pois eles se situam na camada mais externa do átomo.”*.

Ainda em relação aos PRINCÍPIOS, alguns alunos (sete) apresentaram uma explicação para os baixos pontos de fusão e de ebulição dos compostos covalentes e para a solubilidade em água. A explicação dos primeiro foi fundamentada nas interações intermoleculares e, da última, se deu em termos da polaridade das moléculas. Exemplos de tais construções são apresentados a seguir:

“Os compostos apolares com interações interatômicas apolares não se solubilizam em água, uma vez que a água é polar e só haveria solubilidade se os compostos fossem polares. O baixo ponto de fusão e ebulição se deve porque as interações intermoleculares de Van der Waals são fracas. As interações intermoleculares também explicam porque são quebradiços”. (Aluno A)

“Os sólidos moleculares são um conjunto de moléculas discretas mantidas por forças intermoleculares, explicando assim as propriedades físicas dos compostos. Entretanto, as moléculas são empacotadas por forças de London que são menos direcionadas e, por isso, podem se empacotar melhor no sólido. Por isso os sólidos covalentes são menos duros, possuem ponto de ebulição baixo e se fundem em temperaturas baixas”. (Aluno E)

“As forças intermoleculares que mantém as moléculas unidas são mais fracas, se forem comparadas com a ligação iônica”. (Aluno N)

Ao se comparar tais construções com aquelas fornecidas nos PRINCÍPIOS do segundo “Vê”, referentes às propriedades físicas dos compostos iônicos, percebeu-se que os alunos estabeleceram uma relação entre os pontos de fusão e de ebulição e as interações intermoleculares e, ainda, propuseram uma explicação química para a solubilidade em água. No segundo “Vê”, a explicação dessas propriedades físicas ocorreu em termos da energia que mantém a interação entre as espécies químicas de um composto iônico. A natureza desta energia não foi, contudo, revelada.

Com relação à polaridade, o aluno D acrescentou que a mesma “*é determinada pela diferença de eletronegatividade dos átomos*”. Nesse caso, o aluno fez uma afirmação coerente para o conceito de eletronegatividade. Este foi utilizado para explicar a polaridade de moléculas, ou seja, em casos nos quais os átomos estão unidos por ligações covalentes, contexto em que tal conceito foi definido, como ressaltado no estudo inicial.

Quanto aos REGISTROS, a maioria dos alunos descreveu as observações obtidas com a realização do experimento. Esses dados foram organizados, em alguns casos, em uma tabela, e apresentados nas TRANSFORMAÇÕES. Tal organização versou sobre a temperatura na qual os compostos enxofre- α e enxofre- β são estáveis e as temperaturas de fusão e de ebulição destes.

Embora nos registros e nas transformações, os alunos tenham feito menção aos alótropos de enxofre estudados, a maioria deles não apresentou JUÍZOS COGNITIVOS para explicar a transição de uma espécie química em outra após o aquecimento. Desse modo, os JUÍZOS COGNITIVOS apresentados trataram especificadamente da natureza da ligação S-S-S, da forma das moléculas de S₈ e das propriedades físicas do enxofre.

Os JUÍZOS COGNITIVOS elaborados pelos alunos J, I e O, descritos a seguir, apresentaram-se confusos e com erros conceituais, revelando a incompreensão dos mesmos a respeito dos OBJETOS e dos ACONTECIMENTOS estudados.

“Por ser um elemento muito reativo e interagir diretamente com outros elementos a temperatura ambiente ou em temperaturas elevadas e a molécula S-S é cíclica e possui muitas formas alotrópicas”. (Aluno J)

“A forma do enxofre é geométrica cíclica angular, quando o enxofre é resfriado bruscamente, têm-se uma forma dura grudenta e não cristalina, devido a sua hibridização e seu tipo de ligação”. (Aluno I)

“É de baixo ponto de fusão, e de ebulição, é de estrutura cíclica, é apolar na água e de natureza livre. O baixo ponto de fusão e ebulição vem da polaridade”. (Aluno O)

Dentre os erros conceituais observados nas construções acima, se destacaram os seguintes:

- a) tratar a reação química como uma interação;
- b) considerar que a transição de uma forma alotrópica foi resultante da hibridização e da natureza da ligação das moléculas de S₈;
- c) justificar os pontos de fusão e ebulição com base na polaridade.

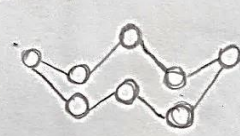
Tais erros mostraram que os alunos não compreenderam os conceitos, as teorias e os modelos que explicam a ligação covalente, de modo que o conhecimento encontrou-se

fragmentado. Isso pode ser percebido nos diagramas V desses estudantes, das Figuras 64, 65 e 66. Nesses diagramas, não foram estabelecidas relações entre o lado teórico e o metodológico, de modo que se pôde concluir que o conhecimento apresentado resultou de uma aprendizagem memorística.

Figura 64- Diagrama V do aluno J, referente à ligação covalente (substância enxofre).

Diagrama V


Questão-foco:

Conceitual/Teórico <i>Pensar</i>	Questão-foco:	Metodológico <i>Fazer</i>
<p>Teoria de ligação de Valência</p> <p>Modelo de Hibridação das Orbitais atômicas -</p> <p>As orbitais híbridas sp^3 é que o que estamos analisando, tem um lóbulo grande pelo qual aponta para os vértices de um tetraedro, essas orbitais são usadas para formar ligações de dois e pela superposição com as orbitais de outros átomos.</p> <p>Princípios - Quando dois átomos tem a mesma tendência de ganhar e perder elétrons ocorre a ligação covalente, os elétrons são compartilhados com outros átomos. Quando átomos muito próximos ocorre interação eletrônica entre eles e núcleos se repelem já que ambos são positivos assim também ocorre com os elétrons, surge das negativamente que se repelem, porém há atração do elétron com o núcleo.</p> <p>Conceitos -</p> <ul style="list-style-type: none"> - Teoria de ligação de Valência - Modelo de Hibridação sp^3 - Ligação covalente - Pontos de fusão e ebulição - Enxofre - Propriedades físicas - Orbitais (sp^3) 	<p>Qual é a natureza dos ligações S-S nos compostos S₈ do enxofre e qual é a forma do anel? O enxofre é um sólido quebradiço, com baixos pontos de fusão e ebulição e insolúvel em água. Quais os fatores responsáveis por essas propriedades? Como essas propriedades podem explicar o fenômeno observado de os aquecer o enxofre fundido e posteriormente sublimá-lo a um recipiente fechado em água?</p>	<p>Juízo de Valor - O enxofre é obtido na forma elementar de depósitos subterâneos e sua molécula cíclica S₈, ele é obtido por um meio forçado onde usa-se água superaquecida, vapor e ar comprimido. Ele tende a formar ligações simples com ele próprio, em vez de ligações duplas, por causa da sobreposição π deficiente das suas orbitais. Ele é um elemento muito reativo e interage com muitos elementos na temperatura ambiente, utilizado para a fabricação de ácido sulfúrico.</p> <p>Juízo cognitivo - Por ser um elemento muito reativo e interagir diretamente com outros elementos na temperatura ambiente ou em temperaturas elevadas, a molécula S-S é cíclica e possui muitas formas alotrópicas e alta energia.</p> <p style="text-align: center;">Representação.</p>  <p>Transformação - As moléculas de enxofre são opalescentes, por causa da compartilhamento dos elétrons que são iguais não havendo diferença de eletronegatividade.</p> <p>Registros - Observamos que ele virou um sólido e não se dissolveu.</p>
<p>Objetos: Água e Enxofre (S₈)</p> <p>Acontecimentos: Foi a combustão do elemento enxofre que foi aquecido no experimento e colocado em água o que se pode observar que virou um sólido.</p>		

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 65- Diagrama V do aluno I, referente à ligação covalente (substância enxofre).

Questão-foco:

Conceitual/Teórico Pensar		Metodológico Fazer
<p><u>Teoria</u>: ligações de ligação de valência (TLV)</p> <p><u>Modelo</u>: hibridização é a mistura das funções de onda ou combinações lineares. A ocorrência do orbital sp^3 deve-se a combinação de um orbital s e três orbitais p. Com isso eles interagem mais efetivamente com outros orbitais do que os orbitais s e p puros.</p> <p><u>Principios</u>: devido a hibridização dos orbitais sp^3, ele tem um arranjo tetraédrico, mas como dois de seus orbitais já estão preenchidos, ele vai ter uma geometria angular e devido a isso sua molécula é geométrica cíclica angular.</p> <p><u>Conceitos</u>: pontos de fusão, ebulição, propriedades periódicas, solubilidade, ligação covalente.</p> <p><u>Objetos</u>: Enxofre (S_8) e água (H_2O)</p> <p><u>Acontecimentos</u>: combustão de enxofre e mudança do enxofre líquido para o enxofre sólido.</p>	<p>Qual é a natureza das ligações $S-S$ nos anéis S_8 do enxofre, e qual é a forma do anel? O enxofre é um sólido quebradigo com baixos pontos de fusão e ebulição e insolúvel em água. Quais os fatores responsáveis por essas propriedades? Como essas propriedades podem explicar o fenômeno observado do aquecer o enxofre fundido e posteriormente submetido a um resfriamento em água?</p>	<p><u>juízes de valor</u>: Processo de vulcanização da borracha sintética ou natural, melhorando a qualidade das borrachas, com relação à resistência dos pneus. Sob a forma de sulfetos, é usado para preservar certos sucos e dióxido no corpo humano é fundamental como alguns aminoácidos.</p> <p><u>juízes cognitivos</u>: A forma do enxofre é geométrica cíclica angular, quando o enxofre é resfriado bruscamente, tem-se uma forma dura, quebradiça e não cristalina, devido a sua hibridização e seu tipo de ligação.</p> <p><u>Representação</u>: </p> <p><u>Transformação</u>: Quando o enxofre é aquecido e colocado em água logo em seguida, forma-se um sólido não cristalino.</p> <p><u>Registro</u>: O enxofre é nativo perante a água.</p>

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 66- Diagrama V do aluno O, referente à ligação covalente (substância enxofre).

Diagrama V

Questão-foco:

Conceitual/Teórico <i>Pensar</i>	Metodológico <i>Fazer</i>
<p><u>TEORIA</u> = teoria da ligação de valência (TLV) - átomos das impurezas se combinam com outros e eles formam uma estrutura eletrônica estável; dois átomos com pontos livres formam uma ligação. A fórmula da molécula é determinada pelas diferenças que ocorrem nos orbitais. Uma ligação covalente resulta em um comportamento de átomos. Átomos ligados formam ligações mais fortes.</p> <p><u>Modelo</u> = os átomos da camada de valência se misturam entre si para depois formar as ligações.</p> <p><u>Pontos livres</u> = sólido quebrado, baixo ponto de fusão e ebulição e insolúvel em água, propriedades, fenômenos;</p> <p><u>Condições</u> = teoria da ligação de valência, propriedades físicas, estrutura dos elementos, ligação química.</p>	<p><u>Qual a natureza das ligações S-S nos núcleos S₈ do enxofre e qual é a fórmula do enxofre? O enxofre é um sólido quebrado, com baixo ponto de fusão e ebulição e insolúvel em água. Qual os pontos de fusão e ebulição por suas propriedades? Como essas propriedades podem explicar o fenômeno observado ao aquecer o enxofre fundido e posteriormente submetido a um tratamento com água?</u></p> <p><u>Juízos de valor</u> = esta teoria vai servir para a utilização do átomo sólido, mostra também como base para outros conceitos dos outros elementos químicos.</p> <p><u>Juízos cognitivos</u> = é de baixo ponto de ebulição, e de estrutura cristalina e apólar na água e de natureza lívida. O baixo ponto de fusão e ebulição um da polaridade.</p> <p><u>Representação</u> =</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p><u>Transformação</u> = O enxofre - A ou B, que é estável à temperatura ambiente e o enxofre - B ou monocelico, é estável acima de 95,5°C</p> <p><u>Reações</u> = O enxofre ao ser aquecido sofre mudança de cor, temperatura.</p>
<p>Objetos: Enxofre - S</p> <p>Acontecimentos: mudança de fase</p>	

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

As explicações para a transição entre as formas alotrópicas do enxofre apresentadas pelos alunos A e E nos JUÍZOS COGNITIVOS, foram baseadas nos aspectos teóricos (lado

esquerdo do “Vê”) e metodológicos (lado direito do “VÊ”). Tais explicações estão descritas a seguir:

“O composto enxofre é cíclico por causa da natureza da ligação, este é quebradiço por que a interação entre as moléculas são fracas do tipo de London. E por causa dessa interação seu ponto de fusão e ebulição são baixos. O enxofre é formado por ligações apolares, dificilmente dissolverá em água que é um composto polar pois não há interação entre eles. O enxofre ao aquecer muda seu arranjo que estável em temperaturas ambientes passando para o arranjo monoclinico, ao resfriar o enxofre em água ele recristaliza muda seu arranjo inicial do tipo rômboico”. (Aluno E)

“As ligações S-S nos anéis de enxofre são ligações covalentes, formando assim um anel cíclico de geometria angular. O enxofre é um sólido quebradiço pois suas interações intermoleculares (de Van de Walls) são fracas. Essas interações intermoleculares explicam também o baixo ponto de fusão e ebulição, uma vez que é preciso de pouca energia para quebrar essas interações. Já a solubilidade em água provém das interações interatômicas que são apolares, por isso o enxofre é insolúvel em água. O enxofre sólido varia para o enxofre fundido e para o enxofre resfriado em água por se tratarem de substâncias diferentes. O enxofre α , quando fundido se transforma em enxofre β , uma vez que seu ponto de fusão é muito baixo. O enxofre- β , quando resfriado em água volta a seu estado sólido. Isso acontece por sua insolubilidade em água”. (Aluno A)

Ao estabelecer um paralelo entre as construções acima com aquelas referentes aos demais elementos do “Vê”, observou-se, a partir dos diagramas dos alunos E e A, Figuras 67 e 68, respectivamente, que os mesmos compreenderam a transição em termos do efeitos da temperatura no arranjo das moléculas. A construção desse conhecimento foi sustentada naquela referente às propriedades físicas do enxofre, como o ponto de fusão, o ponto de ebulição e a solubilidade. Desse modo, os estudantes buscaram estabelecer relações entre o novo conhecimento e aquele que possuíam em suas estruturas cognitivas, levando a uma aprendizagem significativa, ainda que alguns erros conceituais tenham sido observados.

Vale destacar que os JUÍZOS COGNITIVOS elaborados pelos alunos A e E explicaram parcialmente o ACONTECIMENTO observado. Peixoto (2002) fornece uma explicação mais elaborada ao relatar que a forma monoclinica ou enxofre β é obtida quando o enxofre líquido é resfriado lentamente, mas, em temperatura ambiente, de aproximadamente 25°C, transforma-se lentamente na forma ortorrômboica, enxofre α . No entanto devido ao resfriamento brusco em água, transforma-se em uma forma não-cristalina. Esta resulta do fato de que as cadeias formadas pela quebra de algumas moléculas cíclicas não tiveram tempo de

se organizar. Uma construção desta natureza exigiria, contudo, conhecimento de conceitos ainda não disponíveis na estrutura cognitiva dos alunos, com aqueles relativos à estrutura cristalina e à alotropia.

Figura 67- Diagrama V do aluno E, referente à ligação covalente (substância enxofre).

Diagrama V

Conceitual/Teórico
Pensar

Questão-foco:

Qual é a natureza das ligações S-S nos anéis S₈ do enxofre e qual é a forma do anel? Quais os fatores responsáveis por o enxofre ser um sólido quebradiço, com baixo ponto de fusão e ebulição, insolúvel em água? Como explicar o fenômeno observado ao aquecer o enxofre fundido e posteriormente submetê-lo a um resfriamento em água?

Metodológico
Fazer

- Sêria: TLV (ligação de valência)

- Modelo: Hibridização das orbitais atômicas. A hibridização é a combinação das funções de onda de cada orbital. Sem que haja dois elétrons de spins opostos e cada átomo contribui com um elétron. Quando há a mistura das orbitais híbridas, os seus orbitais formados ficam maiores, favorecendo a ligação química. A forma da molécula é determinada pela direção em que os orbitais da hibridização apontam.

- Princípio: As ligações covalentes acontecem quando há dois elementos com caráter eletrônico, ou seja, altas energias de ionização e baixa afinidade eletrônica. O caráter apolar com interação interatômica apolar não se solubilizam em água, uma vez que a água é polar e se ioniza solubilidade se os compostos também forem polares. O baixo ponto de fusão e ebulição se deve porque as interações intermoleculares de Van der Waals são fracas. As interações intermoleculares também explicam porque ele não quebrações.

- Conclusões: Ligação química, sólido, ponto de fusão, ponto de ebulição, configuração eletrônica, propriedades periódicas, interação intermolecular, interação interatômica.


- Fatores de valor: O enxofre é um elemento bastante presente em várias partes da química. O elemento em si não possui um odor forte, mas sim os seus compostos como H₂S, SO₂, SO₃ entre outros. Na combustão do enxofre gera-se SO₂, um gás com propriedades anti místicas.

- Fatores cognitivos: As ligações S-S nos anéis de enxofre são ligações covalentes formadas assim em um anel cíclico de geometria angular. O enxofre é um sólido quebradiço por suas interações intermoleculares (de Van der Waals) não fracas. Suas interações intermoleculares explicam também o baixo ponto de fusão e ebulição, uma vez que se precisa de pouca energia para quebrar essas interações. Por a solubilidade de um gás próximo das interações interatômicas que são apolares, por isso o enxofre é insolúvel em água. O enxofre sólido seria para o enxofre fundido e este seria para o enxofre resfriado em água por se tratar de substâncias diferentes. O enxofre fundido, se transforma em enxofre α, quando seu ponto de fusão é muito baixo. O enxofre β, quando resfriado em água volta a ser sólido. Isso acontece por sua maior estabilidade em água.

- Representação: Anel de tetráedrico nas geometria angular.

S²⁺ hibridiza em sp³

arranjo tetraédrico



geometria angular cônica

- Transformação:

Enxofre	Estabilidade	Forma	Coloração
Enxofre α	Simp ambiente	Sólido	marrom
Enxofre β	Acima de 95,5°C	Líquido	Vermeilhado

- Requisitos: Ao aquecer o enxofre sólido, este vira líquido com uma coloração vermelho-escuro. Ao entrar em combustão, o enxofre libera um gás de coloração amarelado e com um cheiro forte característico. Este gás ao entrar em contato com a água forma o ácido sulfuroso. Posteriormente, o enxofre líquido por resfriado em água e, com a queda de temperatura, volta a ser sólido.

Objetos: S₈ (enxofre), O₂ e água.

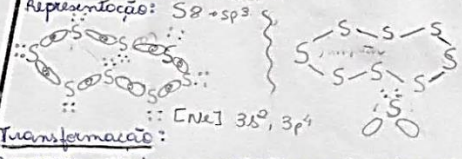
Acontecimentos: Combustão do enxofre e resfriamento em água (mudança de estado físico)

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 68- Diagrama V do aluno A, referente à ligação covalente (substância enxofre).

Diagrama V

Questão-foco: Qual é a natureza das ligações S-S monanéis e qual é a forma do anel?

Conceitual/Teórico <i>Pensar</i>	Metodológico <i>Fazer</i>
<p>Teoria: TLV</p> <p>modelo: hibridização sp^3</p> <p>Um modelo consiste em átomos que tem elétrons desparelhados combinando com elétrons desparelhados de outros de hibridização. De modo que essa combinação tem a função a estabilidade dos átomos envolvidos. Há casos que elétrons desparelhados de um átomo no seu estado fundamental não existentes por meio do fornecimento de energia, que poderás desparelhar e permitir a formação de mais ligações do que seria previsto. Sendo assim depois da hibridização de orbitais sobre a sobreposição dos orbitais híbridos de cada átomo envolve formando então a molécula.</p> <p>Princípios: Os sólidos moleculares são um conjunto de moléculas discretas mantidas por forças intermoleculares, explicando assim as propriedades físicas dos compostos. Entretanto, as moléculas são empacotadas por forças de London que são menos orientadas e por isso, podem se empacotar melhor no sólido. Por isso, os sólidos covalentes são menos duros, possuem pontos de ebulição baixos e se fundem em temperaturas baixas. As interações de London são geralmente fracas. Quando um composto é formado por ligações apolares, dificilmente dissolverá em um composto polar por não haver interação entre eles. As ligações covalentes se definem pela alta energia e ionização e baixa afinidade eletrônica.</p> <p>Conceitos: Ligação que mista, interação intermolecular, geometria, propriedades periódicas, compostos apolares, polares, sólido cristalino, ponto de fusão e ebulição, TLV, hidratação.</p> <p>Objetos: composto enxofre, água e oxigênio</p> <p>Acontecimentos: A combustão do enxofre e o resfriamento deste em água. Ou seja, mudança dos estados físicos do enxofre.</p>	<p>Objetos de valor: Normalmente os compostos apolares não dissolvem em polares por que não há interação entre eles. Em diferentes temperaturas o enxofre adquire um arranjo diferente. As propriedades periódicas como energia de ionização e afinidade eletrônica define os tipos de ligação que ocorre entre os átomos envolvidos.</p> <p>Objetos cognitivos: O composto enxofre é cristalino por causa da natureza da ligação, este é quibérico por que a interação entre as moléculas são fracas do tipo London. É por causa dessa interação seu ponto de fusão e ebulição são baixos. O enxofre é formado por ligações apolares, dificilmente dissolvem em água que é um composto polar, após não há interação entre eles. Quando o aquecer muda seu arranjo que ocorre em temperaturas ambiente passando para o arranjo monocíclico, ao resfriar o enxofre em água se resfriar ele muda para seu arranjo inicial do tipo rombóico.</p> <p>Representação: $S_8 = sp^3$</p>  <p>Transformação: O enxofre possui uma estrutura cristalina do tipo rombóico que é estável em temperatura ambiente. Quando o composto é submetido a uma temperatura mais elevada, sua estrutura cristalina modifica para monocíclica. Essas estruturas se alternam quando o composto é aquecido ou resfriado lentamente. O gás de brócio durante a combustão é o dióxido de enxofre. Ao inflamar poucos pedaços que o composto libera a linha espectral visível azul.</p> <p>Registro: Ao colocar enxofre para aquecer, são entendidos em combustão. Após isso observou que houve mudança na coloração, significando que houve a formação de outro arranjo. Houve a hibridização de um gás amarelo resultando de um líquido e tinha cheiro forte. Após um determinado ponto o composto se inflamou e representou uma chama azul. Ao envolver o composto na água o composto líquido se tornou sólido e se cristalizou.</p>

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Quanto ao valor atribuído ao conhecimento produzido, a maioria dos estudantes relatou sobre o uso do enxofre no processo de produção de ácido sulfúrico e a obtenção do como enxofre elementar em depósitos subterrâneos. Os JUÍZOS DE VALOR do aluno A, revelaram, contudo, informações conclusivas a respeito do conhecimento produzido, como pode ser percebido no seguinte trecho elaborado pelo estudante: “normalmente os compostos apolares não se dissolvem em água por que não há interação entre eles. Em diferentes

temperaturas o enxofre adquire um arranjo diferente. As propriedades periódicas como energia de ionização e afinidade eletrônica definem os tipos de ligação que ocorre entre os átomos envolvidos”.

A partir da análise desses diagramas V, puderam-se obter informações a respeito do processo de aprendizagem dos alunos sobre a ligação covalente, com base nas relações que estes estabeleceram entre a nova informação e os conhecimentos prévios. Tal relação pôde ser percebida pela interação entre os diversos elementos do “Vê”. Quanto a essa interação percebeu-se que, na maioria dos casos, ocorreu de forma aleatória, isto é, não foram observadas conexões entre a os aspectos teóricos e metodológicos, de modo que a aprendizagem revelada foi de natureza memorística.

As dificuldades dos alunos em relacionar os aspectos teóricos e metodológicos, poderiam ter sido supridas se bons diagramas V modificados fossem compartilhados com os estudantes. A negociação de significados entre o professor e os alunos a partir dos “Vês” modificados, poderia remediar os erros conceituais observados, de modo a favorecer aqueles alunos que não conseguiram chegar ao nível de elaboração desejado.

Além do mais, evidenciou-se com a correção dos “Vês” que muitas das concepções alternativas referentes às propriedades periódicas e à estrutura da matéria ainda estiveram presentes nas explicações dos alunos. A permanência destas pode ter contribuído para incompreensão da nova informação, como destacado ao longo da análise, ou, então, levado à construção de uma aprendizagem significativa errônea, na qual as concepções alternativas tornam-se cada vez mais elaboradas e diferenciadas, à medida que novas interações são estabelecidas entre elas e a nova informação.

4.2.4.2 Quarto diagrama V

A construção do quarto diagrama V se deu com base nas seguintes questões-foco: “Considerando-se que a substância oxigênio $O_{2(g)}$ é paramagnética, como podemos explicar as ligações químicas das moléculas lineares de O_2 ? O que explica sua elevada energia de ligação? Por que o comprimento da ligação O-O do íon O_2^- é maior do que aquela na molécula de O_2 ?”. A partir dessas questões, buscou-se obter informações sobre as relações que os alunos estabeleceram entre os conceitos ordem de ligação, comprimento e energia da ligação, tendo como exemplos a molécula de O_2 e o íon O_2^- .

Para a explicação da natureza das ligações químicas presentes nas moléculas de O₂, os estudantes tiveram que se basear em uma teoria quântica, diferente daquela proposta no diagrama anterior, pois a TLV não explica o paramagnetismo do oxigênio, o que pode ser conseguido com o uso da Teoria dos Orbitais Moleculares (TOM). Desse modo, foi possível também avaliar a compreensão dos alunos sobre as ligações covalentes na perspectiva de outra teoria.

As pontuações atribuídas a cada elemento do “Vê” são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17- Pontuação dos diagramas V, referente ao quarto “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise.

Alunos	Critérios											Total
	Questão-foco	Objetos e acontecimentos	Conceitos	Teoria	Modelo	Princípios	Registros	Transformações	Representação	Juízos cognitivos	Juízos de valor	
A	0,50	0,50	1,40	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,50	1,50	1,00	9,40
B	0,50	0,50	0,83	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,25	0,25	0,00	5,33
C												
D	0,50	0,25	1,10	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,25	0,50	7,10
E	0,50	0,50	1,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,50	1,25	0,25	8,00
F												
G												
H												
I	0,50	0,50	0,93	0,50	0,50	0,25	0,15	0,50	1,00	0,50	0,25	5,58
J	0,50	0,50	1,15	0,50	0,25	0,25	0,50	0,50	1,50	1,25	0,25	7,15
K	0,50	0,15	0,80	0,50	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,25	0,25	7,45
L	0,50	0,50	0,89	0,50	0,50	0,25	0,50	0,50	1,00	0,50	0,25	5,89
M												
N	0,50	0,50	0,77	0,50	0,25	0,25	0,50	0,20	1,50	0,50	0,25	5,67
O	0,50	0,50	0,72	0,50	0,25	0,25	0,50	0,20	0,25	0,25	0,25	4,17
P	0,50	0,50	0,90	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	1,25	0,50	8,15
Q	0,50	0,50	0,72	0,50	0,25	0,25	0,50	0,20	1,00	0,25	0,25	5,42
R	0,50	0,15	0,85	0,50	1,00	0,25	0,50	0,35	0,00	0,50	0,00	4,60
S	0,50	0,15	0,95	0,50	1,00	0,25	0,00	0,35	0,00	1,25	0,00	4,95

Fonte: do autor.

Os dados da Tabela 17 mostraram que a maioria dos alunos (8) apresentou uma pontuação abaixo do valor médio (6,35). Isso ocorreu devido às incompreensões referentes ao MODELO, proposto para explicar a natureza das ligações covalentes e aos CONCEITOS envolvidos na explicação dos OBJETOS e ACONTECIMENTOS. Isso levou à obtenção de JUÍZOS COGNITIVOS com pouco significado, embora condizentes com a literatura.

Com relação aos CONCEITOS que foram listados pelos alunos, destacaram-se aqueles referentes às propriedades periódicas, à estrutura da matéria, à ligação iônica e à ligação

covalente, observados nos diagramas V anteriores. O único conceito relacionado a esse “Vê” foi apresentado pelos alunos B e O e consistiu na palavra TOM.

Além de ser citada como um conceito, a TOM foi proposta por todos os alunos como a TEORIA que permite explicar o ACONTECIMENTO estudado. A escolha dessa teoria pode ser justificada pelo contexto definido na QUESTÃO-FOCO, na qual se afirmou que a substância oxigênio apresenta propriedades paramagnéticas. Estas foram discutidas pelo professor, em sala de aula, tomando como exemplo a substância oxigênio. Para isso, o professor explicou a ligação química da molécula de O_2 , a partir das teorias de Lewis, da TLV e da TOM, ressaltando que esta última é que poderia justificar o paramagnetismo.

A informação apresentada pelo professor pode ter sido aprendida de forma mecânica e reproduzida quando solicitada. Não se pode afirmar, contudo, tal suposição sem antes analisar os demais elementos do “Vê” e as relações que os alunos estabeleceram entre os mesmos. A aprendizagem significativa será revelada quando, os estudantes articularem os elementos teóricos com os metodológicos, a fim de proporem JUÍZOS COGNITIVOS para as questões sugeridas.

A TOM, assim como a TLV, é uma teoria fundamentada na mecânica quântica. De acordo com Atkins e Jones (2006), a mesma fornece explicações para a propriedade paramagnética exibida por algumas substâncias. Essa propriedade justifica-se pela existência de elétrons desemparelhados na molécula. Tal assertiva contradiz os pressupostos da TLV e da teoria de Lewis, pois estas descrevem as ligações covalentes em termos de pares de elétrons ligantes. A existência de compostos deficientes em elétrons também é explicada pela TOM, embora a TLV forneça explicações em termos de ressonância.

Como a TOM é uma teoria com fundamentos na mecânica quântica, é de se esperar que seu entendimento seja dependente da compreensão do modelo quantomecânico do átomo, principalmente do conceito de orbital atômico. Esse conceito é considerado como o subsunçor para o conceito de orbital molecular, um dos conceitos presentes na TOM. E é também o subsunçor do conceito de orbital híbrido, empregado na TLV. Desse modo, o entendimento das diferenças e das semelhanças entre ambas as teorias requer que os alunos tenham, em suas estruturas cognitivas, os conceitos citados anteriormente, de forma clara, estável e diferenciada.

De acordo com Atkins e Jones (2006), os modelos propostos pela TLV e pela TOM estruturam-se em funções de onda reais dos elétrons como aproximações. Na TLV os elétrons encontram-se deslocalizados em átomos ou entre pares de átomos. Segundo a TOM, os

elétrons localizam-se em orbitais moleculares que se espalham por toda a molécula. Desse modo, não pertencem a nenhuma ligação em particular.

Ao analisar os MODELOS descritos pelos alunos referentes à TOM, percebeu-se que os mesmos não têm, em suas estruturas cognitivas, uma diferença clara entre esta teoria e a TLV. Isso pode ser identificado nas seguintes construções.

“Os elétrons de valência estão dispostos para toda a molécula. Não necessariamente há necessidade dos orbitais se hibridizarem. Quando ocorre a hibridização há possibilidade de fazer mais ligações, quando ocorre a ligação é formado também o orbital ligante e um nódulo dando origem ao orbital antiligante onde esse não participa da ligação. Necessariamente a energia do orbital antiligante é maior que a do ligante”. (Aluno E)

“Para ocorrer a combinação, a sobreposição, os orbitais tem que possuir spins diferentes, porém o tamanho tem que ser igual para que haja uma combinação linear entre eles e assim a força e o comprimento sejam iguais”. (Aluno J)

“Superposição de orbitais permite que dois elétrons de spins contrários compartilhem um espaço comum entre os núcleos, quanto maior a superposição, mais forte a ligação”. (Aluno Q)

“Na teoria dos orbitais moleculares, a ligação covalente entre os átomos acontece da seguinte forma: os elétrons desemparelhados da camada de valência sofrem interação frontal para formar ligação σ e ligações laterais formando ligações π . Estas interações formam um novo orbital explicado pela TOM”. (Aluno N)

Nessas descrições, observou-se que os alunos fizeram uso de conceitos e ideias da TLV para se referirem à TOM. O aluno E pareceu não ter compreendido a diferença entre orbitais moleculares e orbitais híbridos. Os alunos J e Q relataram que, na ligação covalente, segundo a TOM, ocorre o pareamento de elétrons entre os núcleos dos átomos que se ligam, contudo esta explicação é fornecida pela TLV. Tais confusões podem estar relacionadas à incompreensão dos conceitos utilizados e ao fato de que alguns deles são representados pelo mesmo rótulo, mas apresentam significados diferentes.

Os símbolos σ e π , por exemplo, citados pelo Aluno N, fazem parte da TLV e da TOM, mas os significados atribuídos em cada caso são diferentes. Na TLV, tais símbolos são utilizados para designar os tipos de ligações químicas, isto é, a ligação será Sigma (σ) quando houver a superposição cabeça-cabeça entre dois orbitais atômicos dos átomos que se ligam, e Pi (π), quando a superposição for lateral. Segundo a TOM, tais símbolos são utilizados para denominar os orbitais molecular e, conforme explicado por Atkins e Jones (2006), o símbolo σ indica que o orbital molecular formado não apresenta um plano nodal na direção do eixo

internuclear, enquanto que o símbolo π indica que o orbital molecular formado apresenta um plano nodal sobre o eixo internuclear.

Nesse sentido, a incompreensão dos conceitos envolvidos na TEORIA pode resultar em uma aprendizagem memorística, na qual os alunos apenas memorizam termos sem significado. Ou, ainda, tais conhecimentos podem resultar em concepções alternativas. Um exemplo disso seria a descrição apresentada a seguir, elaborada pelo aluno O.

“A teoria dos orbitais moleculares explica como os átomos formam um globo molecular. Ao se unirem para formar substâncias, mediante s ligações químicas, os átomos se combinam entre si e formam combinações lineares dos orbitais atômicos. Ao formarem a combinação, os elétrons formam a camada fechada completa e assim conferem configuração covalente”. (Aluno O)

A construção apresentada pelo aluno O revelou que ele não compreendeu a TOM, pois se referiu ao orbital molecular como globo molecular e, fundamentou a explicação na regra do octeto. Essa regra não explica, contudo, a existência de elétrons desemparelhados e não pode ser utilizada com o mesmo significado do modelo sugerido pela TOM.

Nesse sentido, identificou-se que a concepção do octeto completo para explicar a ocorrência das ligações químicas manteve-se resistente, independentemente do contexto proposto. Além do mais, o modelo quantomecânico mais relevante na estrutura cognitiva pareceu ser aquele observado no estudo inicial, o descontextualizado, pois embora na análise do primeiro “Vê” tenha sido observado que o estudante apresentou um modelo quantomecânico incompleto, este não foi elaborado, não servindo como “âncora” para as novas aprendizagens.

O esclarecimento da ligação covalente segundo a TOM se dá em termos da formação de orbitais moleculares a partir de orbitais atômicos. Desse modo, quando dois orbitais atômicos, cada qual pertencente a um átomo se superpõem, formam-se dois orbitais moleculares, um mais estável, chamado ligante, e o outro, menos estável, chamado antiligante (DUARTE, 2001). Descrições próximas a estas foram apresentadas pelos alunos K,L, A, D e R, conforme pode ser percebido nas construções a seguir.

“A combinação linear de orbitais atômicos da origem a orbitais moleculares, que envolvem toda a molécula. O mesmo número de orbitais atômicos dão origem a um mesmo número de orbitais moleculares”. (Aluno K)

“Um orbital molecular é construído pela combinação linear de orbitais de átomos diferentes. Um OM pode ter energia menor ou maior que a dos orbitais atômicos usados na

construção, os orbitais atômicos são como ondas estacionárias localizadas nos núcleos dos atômico”. (Aluno L)

“Nesse modelo há sobreposição de orbitais, formando dois novos orbitais atômicos, um ligante e um anti ligante. O ligante (σ) é favorável a ligação, já o antiligante (σ^) é desfavorável à ligação. Os elétrons são distribuídos dos orbitais de menor energia para os de maior energia. Além disso, há os orbitais não ligante que são formados mas não participam da ligação”. (Aluno A)*

“Os orbitais de valência estão deslocalizados por toda molécula. Assim os orbitais atômicos de átomos diferentes são combinados para formar orbitais moleculares. Assim as nuvens eletrônicas dos dois átomos se recobrem com a aproximação, gerando a função de onda para a molécula dada por ψ^+ e ψ^- . No entanto o número de orbitais atômicos formados é igual o de AO participantes da combinação”. (Aluno D)

“A combinação linear de orbitais atômicos para formar um orbital molecular, formando um orbital ligante e um antiligante, onde o número de orbital ligante é igual ao número de orbital antiligante”. (Aluno R)

As descrições do MODELO apresentadas anteriormente foram coerentes com aquelas da literatura, porém alguns erros conceituais foram observados nas construções dos alunos A, D e R. Os estudantes A e D utilizaram o conceito de orbital atômico como sinônimo de orbital molecular. O aluno R relatou que o número de orbitais ligantes formados deve ser igual ao número de orbitais antiligantes. No entanto, o número total de orbitais moleculares formados (ligante e antiligante) deve ser igual ao número de orbitais atômicos combinados.

Tais confusões podem estar relacionadas a uma ideia não muito clara de alguns conceitos relacionados à TOM. O aluno A, por exemplo, considerou o orbital não ligante como sendo um orbital molecular, enquanto que o mesmo é um orbital atômico localizado essencialmente no átomo e não faz parte da molécula. Na descrição do aluno D, percebeu-se o conceito de superposição foi expresso pela palavra recobrir, mas superpor significa somar ou subtrair funções de onda.

De acordo com o MODELO da combinação linear de orbitais atômicos (LCAO), a formação dos orbitais moleculares ligantes e antiligantes explica-se pela interferência entre as funções de onda de orbitais atômicos, centradas no núcleo. Quando essas ondas se interferem construtivamente, ocorre um aumento da amplitude total da função na região internuclear, isto é, onde houve a superposição. Com isso, a probabilidade de encontrar o elétron nessa região aumenta. Além do mais, o fato de o elétron se encontrar atraído por ambos os núcleos faz com

que sua energia seja menor. Orbitais dessa natureza são denominados ligantes (ATKINS; JONES, 2006).

Os orbitais moleculares antiligantes, segundo relatado por Atkins e Jones (2006), resultam de uma interferência destrutiva entre as funções de onda que leva à formação de uma superfície nodal nos pontos em que os orbitais atômicos se anulam. Desse modo, os elétrons que ocuparem essa região serão fortemente excluídos, levando a um aumento da energia.

A incompreensão do MODELO da LCAO, pelos alunos, também foi revelada nas discussões em sala de aula, como pode ser percebido no trecho a seguir, em que o professor apresenta explicações para a energia dos orbitais moleculares e para os símbolos σ e π .

Professor: *O orbital molecular que favorece a ligação terá energia menor ou maior?*

Aluno B: *Maior.*

Aluno A: *Menor.*

Aluno H: *Você fala de σ e π , σ seria porque é uma ligação simples?*

Professor: *É porque é uma sobreposição frontal.*

Aluno B: *O orbital molecular ligante será sempre o de menor energia e o orbital molecular antiligante o de maior energia? Não inverte não?*

Professor: *Você pode mudar a orientação do eixo (referindo-se ao diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares), mas o orbital molecular ligante será menos energético.*

A partir dessa discussão, percebeu-se que os alunos não compreenderam a natureza da energia utilizada para classificar orbitais moleculares em ligante e antiligante. Além do mais, o entendimento do significado dos símbolos σ e π , segundo a TOM, não foi identificado, pois a explicação fornecida pelo aluno se referiu àquela observada na TLV. De acordo com esta, Atkins e Jones (2006) ressaltam que uma ligação simples é uma ligação σ .

A partir da REPRESENTAÇÃO dos diagramas de níveis de energia dos orbitais moleculares para a molécula de O_2 e o íon O_2^- , puderam-se obter mais informações sobre a compreensão da energia dos orbitais moleculares, pois tais diagramas são construídos considerando-se todos os orbitais moleculares possíveis de serem formados a partir dos orbitais atômicos da camada de valência disponíveis. Desse modo, eles representam as energias relativas dos orbitais atômicos e dos orbitais moleculares, ligantes e antiligantes (ATKINS; JONES, 2006).

Ao analisar as REPRESENTAÇÕES, perceberam-se alguns erros conceituais nos diagramas dos alunos I, N, P, Q e R. Dentre esses erros, destacaram-se os seguintes:

a) considerar a energia do orbital σ^* , formado a partir da superposição de orbitais atômicos p_x , como sendo menor do que a de orbitais π e π^* , formados pela superposição de orbitais p_z e p_y , Figura 69 (aluno I);

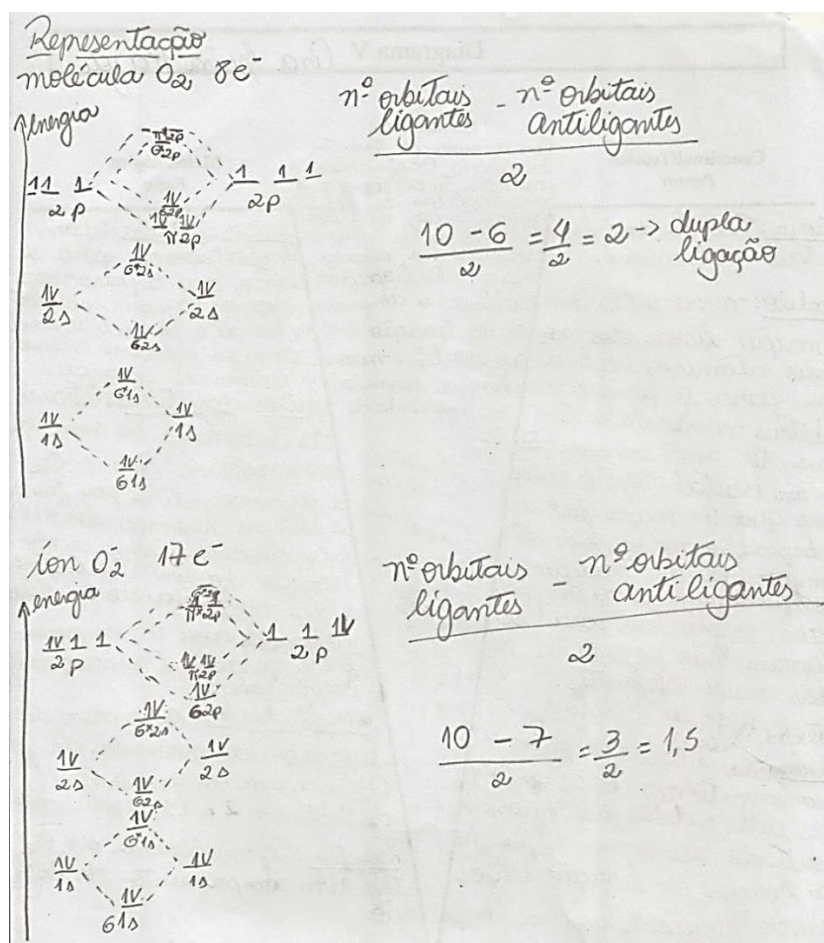
b) considerar a energia dos orbitais π , como sendo menor do que a do orbital molecular σ formado pela superposição de orbitais atômicos p_x , Figura 70 (aluno N);

c) considerar a energia dos orbitais σ e σ^* , formados a partir da superposição de orbitais atômicos do tipo s, como tendo energia maior do que os orbitais π e π^* e orbitais σ e σ^* , formados pela superposição de orbitais moleculares do tipo p_x , Figura 71 (aluno P);

d) considerar a energia do orbital σ^* , formado pela superposição de orbitais atômicos p_x , como sendo menor do que a dos orbitais π^* , Figura 70 (aluno N);

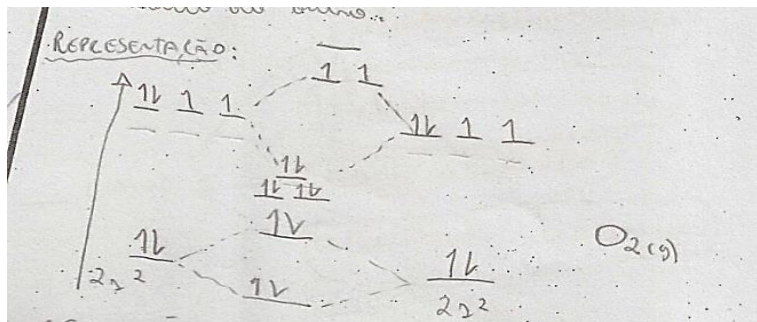
e) considerar a energia dos orbitais π e π^* como sendo menor do que a dos orbitais σ , formados pela superposição dos orbitais atômicos p_x .

Figura 69- Representação do aluno I para o diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares da molécula de O_2 e do íon O_2^- , referente ao quarto diagrama V do estudo final.



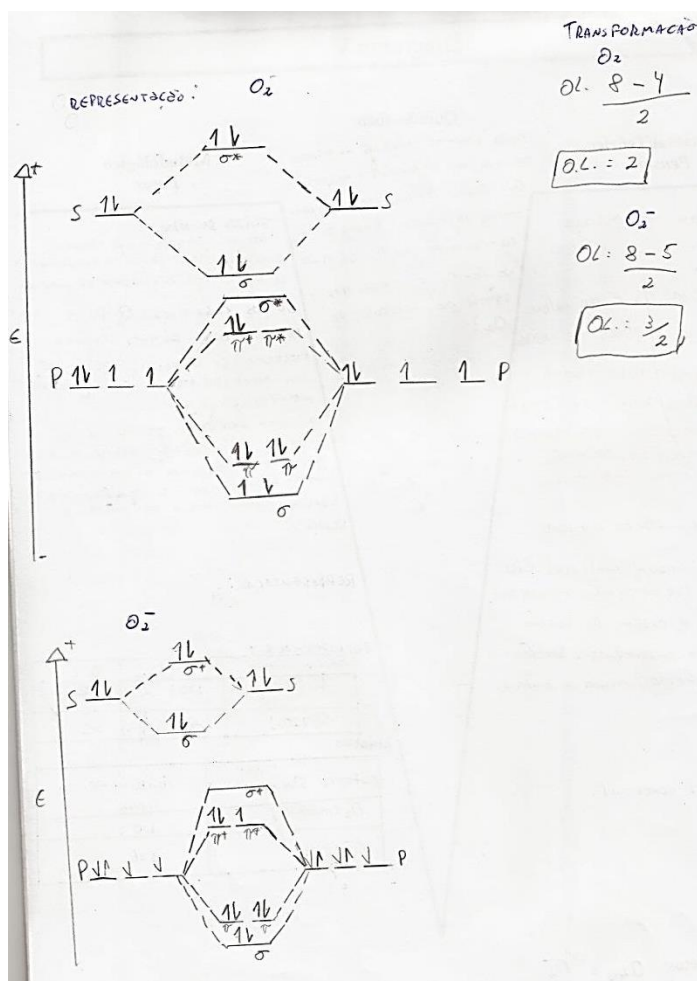
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 70- Representação do aluno N para o diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares da molécula de O_2 e do íon O_2^- , referente ao quarto diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 71- Representação do aluno P para o diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares da molécula de O_2 e do íon O_2^- , referente ao quarto diagrama V do estudo final.



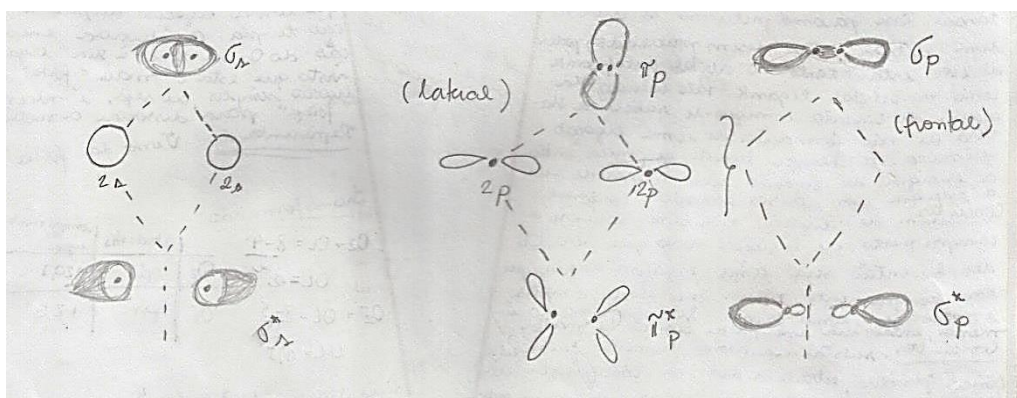
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

O não entendimento da ordem de energia dos orbitais moleculares, expressa pelo diagrama de níveis de energia, pode estar relacionado a uma aprendizagem memorística do diagrama de Linus Pauling. A compreensão deste é relevante, pois a ordem de energia dos orbitais atômicos contribui para a determinação da ordem de energia dos orbitais moleculares. A incompreensão do diagrama de Linus Pauling pelos alunos foi discutida no levantamento de concepções sobre a estrutura da matéria, no estudo inicial.

As REPRESENTAÇÕES dos demais alunos, exceto a do estudante O, que não apresentou nenhum desenho, foram condizentes com a literatura. Tais REPRESENTAÇÕES não forneceram, entretanto, em todos os casos, indícios de que houve uma aprendizagem significativa, uma vez que muitos destes estudantes não apresentaram, em suas estruturas cognitivas de forma clara e estável, o modelo quantomecânico para o átomo, como por exemplo, os alunos B e J.

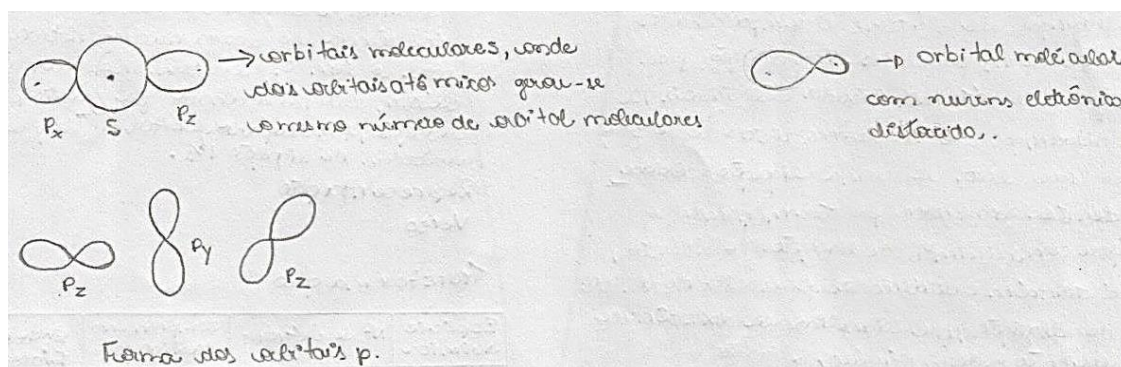
Nas REPRESENTAÇÕES dos alunos A, D, E e L, Figuras 72, 73, 74 e 75, respectivamente, além do diagrama de níveis de energia foi observado um desenho dos orbitais moleculares e dos respectivos orbitais atômicos que os originaram. Tais representações são possíveis, pois, segundo Atkins e Jones (2006), os orbitais moleculares, assim como os atômicos, consistem em uma função matemática bem definida, de modo que podem ser determinados em qualquer ponto do espaço e, conseqüentemente, é possível desenhá-los em três dimensões. Essa informação revela que as REPRESENTAÇÕES dos alunos consistiram em uma aproximação daquela esperada, pois seus desenhos são de natureza 2D.

Figura 72- Representação do aluno A para os orbitais moleculares do O_2 , referente ao quarto diagrama V do estudo final.



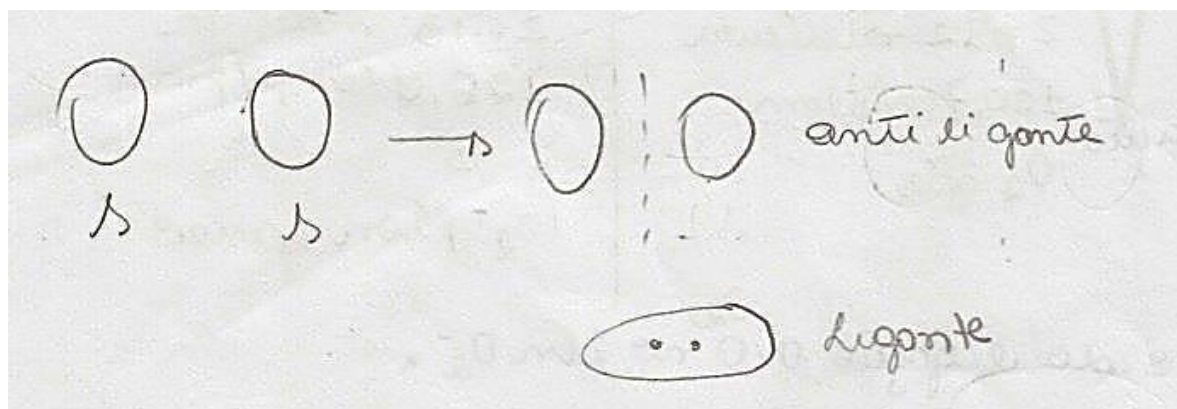
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 73- Representação do aluno D para os orbitais moleculares do O_2 , referente ao quarto diagrama V do estudo final.



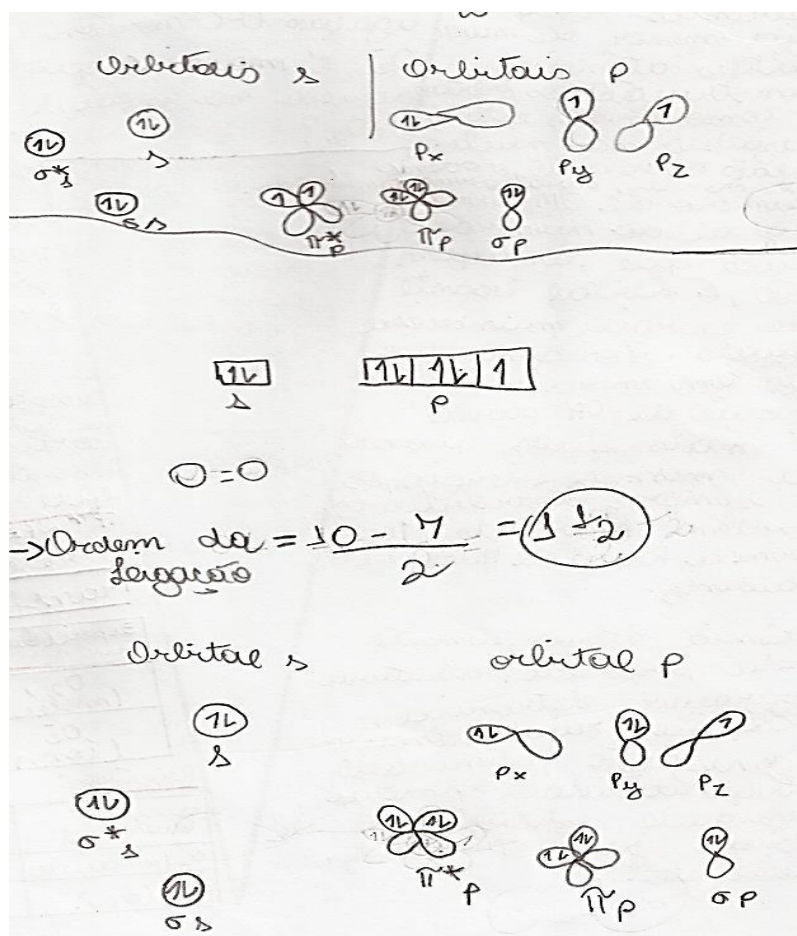
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 74- Representação do aluno E para os orbitais moleculares do O_2 , referente ao quarto diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 75- Representação do aluno L para os orbitais moleculares do O₂, referente ao quarto diagrama V do estudo final.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Os desenhos dos alunos A e E foram os que mais se aproximaram da representação proposta na literatura, salvo algumas considerações. Na REPRESENTAÇÃO do estudante A, percebeu-se que o mesmo revelou conhecer que os orbitais moleculares π e π^* resultam da superposição lateral de orbitais atômicos do tipo p e, que os orbitais moleculares σ e σ^* são formados pela superposição frontal de orbitais atômicos do tipo p e s. As combinações lineares destes orbitais não foram, entretanto, representadas.

Isso levou à conclusão de que o aluno não fez uso do modelo atômico quântico do átomo presente em sua estrutura cognitiva para interpretar o MODELO da LCAO, pois apenas um orbital do tipo p foi representado, enquanto que o número de orbitais atômicos do tipo p, fornecido por cada átomo de oxigênio, que participam da combinação linear é de três.

O aluno E, por sua vez, representou apenas os orbitais moleculares σ e σ^* formados a partir da superposição de orbitais atômicos do tipo s. Vale ressaltar que, embora algumas considerações tenham sido feitas a respeito da interpretação da LCAO, os alunos mostraram

ter entendimento da diferença entre um orbital molecular ligante e antiligante, pois o primeiro foi representado sem uma superfície nodal e, no segundo, tal superfície foi identificada.

A REPRESENTAÇÃO dos alunos D e L não foram coerentes com a literatura. Nesses desenhos, os orbitais atômicos foram considerados como moleculares e não se observou uma diferenciação entre os orbitais moleculares ligantes e antiligantes. Tais confusões podem estar relacionadas a dois fatores: (1) a incompreensão do modelo quântico do átomo, como identificado no estudo inicial e (2) a abordagem da superposição em termos de “mistura” de orbitais, fornecida pelo professor. Este último pode ter contribuído para a REPRESENTAÇÃO do aluno D, na qual o mesmo desenhou um orbital molecular como sendo uma mistura de orbitais atômicos p_x , p_y e s .

As relações entre os conceitos ordem de ligação, comprimento e energia de ligação e a explicação do paramagnetismo foi apresentada nos PRINCÍPIOS. Esta última foi descrita pela maioria dos alunos como sendo resultante da existência de elétrons desemparelhados. Apenas os alunos A e J relacionaram o paramagnetismo ao diagrama de níveis de energia, ao fazerem referência a que tais elétrons são encontrados em orbitais moleculares. A construção do aluno A exemplifica essa afirmação: “*o paramagnetismo se deve a um elétron estar desemparelhado, podendo este estar tanto no orbital antiligante como no orbital ligante*”.

Os alunos N e Q mostraram não ter compreendido o conceito de paramagnetismo, como pode ser percebido nas construções a seguir.

“*O paramagnetismo se dá a partir da grande atração entre núcleo e elétrons na molécula*”. (Aluno N)

“*O paramagnetismo é a atração de uma molécula pelo composto magnético relativo a elétrons desemparelhados*”. (Aluno Q)

Essas construções não foram condizentes com a literatura. Isso pode estar relacionado à incompreensão do conceito de spin, de campo magnético e elétrico, bem como do modelo quântico para o átomo. A ausência de tais conhecimentos na estrutura cognitiva dos alunos corroborou para que os estudantes construíssem concepções alternativas para o fenômeno do paramagnetismo. Como os referidos conceitos não foram abordados em sala de aula, foi esperado que os alunos apresentassem uma definição baseada na existência de elétrons desemparelhados na molécula, como observado na maioria das construções, tratando-se de uma aprendizagem memorística.

Com relação aos PRINCÍPIOS envolvendo os conceitos ordem, comprimento e energia de ligações, observou-se que as explicações fornecidas pela maioria dos alunos não foram muito significativas, pois revelaram apenas que quanto maior for a ordem de ligação,

maior será a energia de ligação e quanto maior for a ordem de ligação menor será o comprimento da ligação. Em contrapartida, nas construções dos estudantes A e K, explicações adicionais foram consideradas, como pode ser percebido nos trechos a seguir.

“Pelo cálculo da ordem de ligação consegue-se saber se haverá ou não formação de uma ligação química. Se houver ligação química, então a energia da ligação será menor do que a energia dos átomos isolados. Conforme a ordem de ligação também, sabe-se o comprimento da ligação visto que a OL der 2, então será uma ligação dupla que tem um comprimento menor que uma simples, e maior que uma tripla. Se o comprimento é menor, então sua energia de ligação é maior”. (Aluno A)

“Quanto menor a ordem de ligação, menor a energia de ligação, pois orbitais antiligantes apresentam maior energia. A ordem de ligação depende do número de orbitais ligantes e antiligantes. Se a ordem de ligação é alta, o nº de elétrons nos orbitais antiligantes é menor, conferindo a molécula maior estabilidade e menor comprimento de ligação”. (Aluno K)

A partir dessas construções, percebeu-se que os alunos A e K compreenderam os conceitos ordem de ligação, energia e comprimento de ligações e souberam fazer uso deste para explicar a estabilidade das moléculas. O aluno A, por exemplo, revelou que a estabilidade está relacionada com a energia de ligação. E, para o estudante K a mesma se deve ao preenchimento dos orbitais moleculares ligantes e antiligantes.

O entendimento dos conceitos ordem de ligação, energia e comprimento de ligações, não foi observado para alguns alunos. Desse modo, a explicação da relação entre os mesmos gerou concepções alternativas, como as apresentadas a seguir.

“Nas ligações para quais os átomos ligados são iguais, a diferença de eletronegatividade é zero, o que leva a uma ligação covalente apolar, determinando o seu comprimento de ligação”. (Aluno D)

“O comprimento de ligação define a energia de ligação. [...] Através do diagrama de energia temos a ordem de ligação da molécula que define a energia da ligação”. (Aluno E)

“A ordem de ligação nas ligações covalentes são mais fracas em comparação com as ligações iônicas, visto que por terem forças de atração parecidas, a energia para arrancar o elétron é menor. O comprimento da ligação se dá no arranjo dos elétrons buscando uma menor energia de atração e repulsão entre núcleos e elétrons. Com a perda de um elétron, o comprimento aumenta, pois aumenta a atração e repulsão entre núcleo e elétron”. (Aluno N)

“A elevada energia de ligação se dá através da estabilidade dos elétrons”. (Aluno O)

Dentre as concepções alternativas observadas nas construções acima, se destacaram as seguintes:

- a) o comprimento da ligação é determinado pela polaridade da ligação;
- b) o comprimento de ligação é definido pela energia de ligação e esta, pela ordem de ligação;
- c) a ordem de ligação pode ser calculada em casos em que se têm ligações covalentes e iônicas, e é considerada como “força da ligação”;
- d) a energia de ionização define a estabilidade dos elétrons e, não, da molécula.

Uma tabela relacionado as espécies químicas O_2 e O_2^- e seus respectivos comprimento de ligação foi apresentada nos REGISTROS. Nas TRANSFORMAÇÕES, exceto no caso dos alunos N e O, informações referentes à ordem de ligação das referidas espécies químicas foram acrescentadas. Esta foi calculada a partir do diagrama de níveis de energia.

Embora os diagramas de níveis de energia representados pelos alunos I, P e Q tenham apresentado erros quanto à ordem de energia dos orbitais moleculares, os mesmos apresentaram os valores de ordem de ligação esperados, 2 para o O_2 e 1,5 para o O_2^- . O mesmo não foi observado para o aluno R, cujo diagrama estava correto. Isso ocorreu porque o estudante não considerou o número de elétrons de ambos os átomos de oxigênio, mas apenas de um deles, revelando, assim, a incompreensão do MODELO de ligação covalente proposto pela TOM.

Para a elaboração dos JUÍZOS COGNITIVOS, a maioria dos alunos relacionou os conhecimentos teóricos construídos do lado esquerdo do “Vê” com aqueles obtidos do lado metodológico. Em alguns casos observaram-se, contudo, erros conceituais referentes à natureza das ligações e às relações entre os conceitos ordem, energia e comprimento de ligações. Isso deu em decorrência da incompreensão da TEORIA, do MODELO e dos CONCEITOS necessários ao entendimento das ligações covalentes. Os trechos a seguir ilustram tais considerações.

“A ligação química do O_2 é a hibridização dos orbitais da camada de valência”.
(Aluno S)

“As moléculas lineares se formam devido aos elétrons não emparelhados”. (Aluno B)

“A elevada energia de ligação do íon O_2^- é 1,5 e a da molécula de O_2 é 2,0 mostrando que o comprimento de ligação é inversamente proporcional”. (Aluno I)

Nesses trechos, percebeu-se que os alunos S e B não apresentaram um conhecimento claro sobre a natureza das ligações covalentes, pois os mesmos utilizam conceitos da TLV para explicar a ligação com base na TOM. Essa incoerência foi observada ao se analisar os

MODELOS propostos pelos alunos, revelando, assim, que tal conhecimento foi obtido mediante uma aprendizagem memorística.

Quanto à relação estabelecida entre os conceitos de ordem, de energia e de comprimento de ligações, para explicar a elevada energia de ligação do O_2 e a diferença de comprimento das ligações químicas presentes na molécula de O_2 e no íon O_2^- , pode-se dizer que, na maioria das construções, observaram-se concepções alternativas, pois tais conceitos não estavam claros na estrutura cognitiva dos estudantes.

O diagrama V do aluno N, Figura 76, ilustra a incompreensão da natureza da ligação presente na molécula de O_2 e do conceito de energia da ligação. Segundo o estudante, a elevada energia de ligação da molécula de O_2 explica-se pelo caráter iônico das ligações covalentes. Ainda que as ligações não sejam essencialmente iônicas ou covalentes, conforme destacado por Duarte (2001), a explicação para a elevada energia de ligação das moléculas de O_2 não está no caráter iônico. Para o estudante, o comprimento de ligação é o mesmo que comprimento da molécula.

Nos JUÍZOS COGNITIVOS do aluno A, Figura 77, observou-se que a explicação da diferença entre o comprimento da ligação da molécula de O_2 e do íon O_2^- se deu com base nas ordens de ligação calculadas. E, ainda, buscou-se relacionar tais valores com os tipos de ligações covalentes, como simples, dupla e tripla. Estas, por sua vez, foram utilizadas para justificar a “força” da ligação. Tais assertivas evidenciaram que o conhecimento produzido pelo aluno foi de natureza significativa, pois relações entre a nova informação e o conhecimento prévio foram observadas, isto é, para a elaboração das TRANSFORMAÇÕES e das REPRESENTAÇÕES, o aluno utilizou da TEORIA e do MODELO e, da relação entre os mesmos, propôs JUÍZOS COGNITIVOS.

Vale destacar que a TOM não é a única teoria que explica a ligação presente nas moléculas de O_2 . Segundo Atkins e Jones (2006), o desenvolvimento de teorias de ligações mais completas que aquela proposta por Lewis não revela que as ideias anteriores estavam incorretas. Elas reforçam, ainda, que, com pouco ajustes, as descrições de Lewis não estavam erradas, de modo que seus conceitos podem ser utilizados. Se o foco estiver, porém, na predição dos pares de elétrons desemparelhados e na forma da molécula a TOM é indicada. Uma conclusão próxima a esta foi apresentada pelo aluno A (FIGURA 77) nos JUÍZOS DE VALOR, onde o mesmo relatou que a teoria de Lewis e a regra do octeto não explicam algumas das propriedades das substâncias.

Figura 76- Diagrama V do aluno N, referente à ligação covalente (substância oxigênio).

Diagrama V

Questão-foco:

Com base no que foi exposto no parágrafo anterior, e considerando-se que a substância dióxido (O_2) é paramagnética, como podemos explicar as ligações químicas das moléculas de O_2 que explica sua elevada energia de ligação? Por que o comprimento da ligação $O-O$ no O_2 é menor do que aquela na molécula de O_2 ?

Conceitual/Teórico
Pensar

TEORIA: TOM

MODELO: Na teoria dos orbitais moleculares, a ligação covalente entre os átomos acontece da seguinte forma: os elétrons desemparelhados da camada de valência sofrem interações frontal para formar ligação σ e ligação lateral formando ligação π . Estas interações formam um novo orbital explicada pela TOM.

Princípios: O paramagnetismo se dá a partir de grande atração entre núcleos e elétrons na molécula. A ordem de ligação nas ligações covalentes são mais fortes em comparação com as ligações iônicas, isto que por terem forças de atração parecidas, a energia para arrancar o elétron é menor. O comprimento da ligação se dá no arranjo dos elétrons buscando uma menor energia de atração e repulsão entre núcleos e elétrons. Com a perda de um elétron, o comprimento aumenta, por aumentar a atração e repulsão entre núcleos e elétrons.

CONCEITOS: Mapa conceitual.

Metodológico
Fazer

Juízos DE VALOR: As forças de atração e repulsão são de grande importância nas ligações químicas, pois influenciam o comprimento da ligação, o arranjo dos elétrons para se determinar a geometria da molécula e explicar o paramagnetismo das substâncias através de elétrons desemparelhados.

Juízos ACERTIVOS: A energia de ligação elevada é explicada pelo caráter iônico das ligações covalentes. As forças de atração e repulsão sendo elevadas, influenciam no comprimento da molécula, por quanto mais atraídas, podem ficar mais distantes um núcleo do outro.

REPRESENTAÇÃO:

TRANSFORMAÇÃO: A diferença do comprimento de ligação acontece com a diminuição entre atração e repulsão entre núcleos e elétrons.

$O = 3s^2, 2s^2, 2p^4$

REGISTROS:	
Espécie Química	Comprimento de ligação (comp./pm)
O_2 (molécula)	120,17
O_2 (ion)	126,0

Objetos: $O_2(g)$, $S_8(s)$, $NaCl(s)$

Acontecimentos: Paramagnetismo entre moléculas de O_2 , forças de atração e repulsão entre elétrons e núcleos.

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 77- Diagrama V do aluno A, referente à ligação covalente (substância oxigênio).

(Continua)

Diagrama V

Questão-foco:

Conceitual/Teórico
Pensar

Teoria: TOM (Orbitais Moleculares)

Módulo: Combinação linear dos orbitais moleculares. Nesse módulo há a sobreposição de orbitais, formando dois novos orbitais atômicos, um ligante e um anti ligante. O ligante (σ^+) é favorável à ligação, já o anti ligante (σ^-) é desfavorável à ligação. Os elétrons são distribuídos nos orbitais de menor energia para os de maior energia. Além disso, há os orbitais não ligantes que não são formados, mas não participam da ligação.

Principais: O módulo da combinação linear dos orbitais atômicos consegue explicar o paramagnetismo de algumas substâncias. Esse paramagnetismo se deve a um elétron estar desemparelhado, porém ele está tanto no orbital anti ligante como no orbital ligante. Pelo cálculo da ordem de ligação, consegue-se saber se haverá ou não formação de uma ligação química. Se houver ligação química, então a energia de ligação será menor do que a energia dos átomos isolados, conforme a ordem de ligação também, sabe-se o comprimento de ligação visto que se a OL der 2, então sua ligação dupla que tem comprimento menor que uma simples, e maior que uma tripla. Se o comprimento é menor, então sua energia de ligação é maior.

Conceitos: substância atômica, elementos químicos, tabela periódica, estrutura atômica, configuração eletrônica, propriedades periódicas, raio atômico, energia de ionização, afinidade eletrônica, eletropositividade, eletronegatividade, metais, ametais, não metais, eletronegatividade, eletrons de valência, ligação química, ligação iônica, ligação covalente, metais cristalinos, energia de rede, ponto de fusão, ponto de ebulição, solubilidade, durezza, forças intermoleculares, íons.

Metodológico
Fazer

Objetos: Molécula de $O_2(g)$ e íon $O_2^-(g)$

Acontecimentos: Paramagnetismo e energia de ligação

Questão-foco: Considerando que a substância oxigênio ($O_2(g)$) é paramagnética, como podemos explicar as ligações químicas das moléculas lineares de O_2 ?
O que explica sua elevada energia de ligação? Por que o comprimento da ligação $O-O$ no íon O_2^- é maior do que aquela na molécula de O_2 ?

Objetos de valor: O estudo e compreensão da TOM é importante pois vê-se que a teoria de Lewis e a famosa regra do octeto não explica algumas das propriedades de algumas elementos e substâncias.

Objetos cognitivos: A ligação química na molécula de O_2 só é explicada pela TOM. Quando calculado a ordem de ligação tem-se como resultado 2, ou seja, haverá uma ligação e esta será dupla. Isso também indica que há mais elétrons nos orbitais ligantes que nos anti ligantes. O comprimento da ligação do íon O_2^- é maior porque a O.L. de 1,5 tem um comprimento maior que a ligação dupla. Uma ligação simples é maior que uma ligação dupla e uma ligação tripla. A elevada energia de ligação do O_2 se deve à sua ligação dupla, visto que esta é mais "forte" que uma ligação simples, ou seja, é necessário mais "força" para dissociar a molécula.

Representação: Verso da folha!

Transformação:

	Orbitais	Comprimento de ligação	Ordem de ligação	n°
$O_2 + O_2 = 8 - 4$	O_2 gás	120,7	2	12
$O_2^- + O_2 = 8 - 5$	O_2^- gás	126	1,5	13

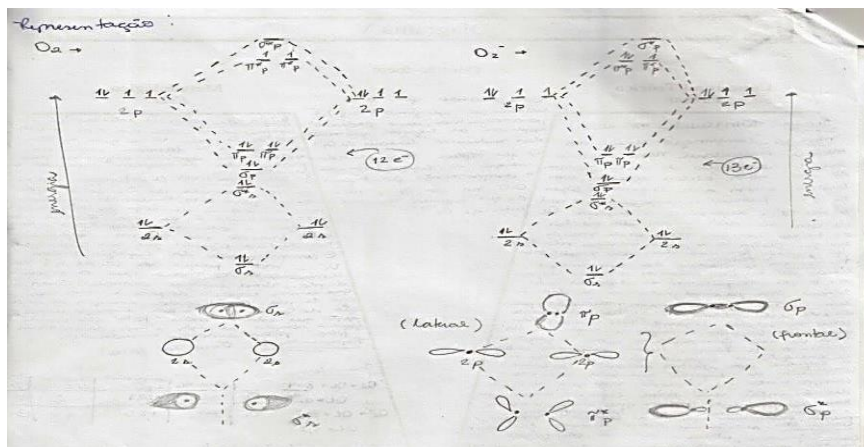
$OL = 2$
 $OL = 1,5$

Registros: $O: [He] 2s^2 2p^4$
 $O^+ Z: 8$
A: 16 g/mol.
 $O_2: 120,7 \text{ comp/pm}$
 $O_2^-: 126 \text{ comp/pm}$

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 77– Continuação do diagrama V do aluno A, referente à ligação covalente (substância oxigênio).

(Conclusão)



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Quanto aos JUÍZOS DE VALOR apresentados pelos demais alunos, destacaram-se aqueles que ressaltam (a) a importância da ordem de ligação para se determinar o comprimento e energia das ligações; (b) o entendimento do paramagnetismo em termos da existência de elétrons desemparelhados; (c) a importância da natureza das ligações para se explicar as propriedades das substâncias e (d) o valor do diagrama de níveis de energia para se calcular a ordem de ligação.

A análise do “Vê” revelou que a maioria dos alunos apresentou um conhecimento fragmentado e pautado em concepções alternativas, uma vez que erros conceituais foram observados. Embora grande parte dos JUÍZOS COGNITIVOS tenha sido elaborada com base nos aspectos teóricos e metodológicos, a construção não evidenciou um conhecimento resultante de uma aprendizagem significativa, pois grande parte dos estudantes mostrou não ter conhecimento da TEORIA, do MODELO e dos CONCEITOS que permitem explicar as ligações covalentes segundo a TOM.

Isso pode estar relacionado à ausência do modelo quantomecânico para átomo de forma clara, estável e diferenciada na estrutura cognitiva dos alunos. E também ao não estabelecimento de reconciliação integradora entre as teorias TLV e TOM, já que em muitos casos observou-se que os conceitos referentes às mesmas foram utilizados como sinônimos. Assim, o entendimento da ligação covalente, segundo as teorias da mecânica quântica, não foi evidenciado nos diagramas V.

4.2.5 Análise do quinto diagrama V modificado

A construção do quinto diagrama V foi realizada a partir das seguintes questões-foco: “Qual é a natureza das ligações químicas presentes no $Li(s)$? Como se explicam suas propriedades como brilho, condutividade elétrica e térmica?”. Com essas questões, buscaram-se informações sobre o entendimento dos alunos a respeito da formação de ligações metálicas, a relação entre a teoria que a explica e as propriedades dos compostos metálicos.

A pontuação dos diagramas V, com base nos critérios de análise, está descrita na Tabela 18.

Tabela 18- Pontuação dos diagramas V, referente ao quinto “Vê” do estudo final, segundo os critérios de análise.

Alunos	Critérios										Total	
	Questão-foco	Objetos e acontecimentos	Conceitos	Teoria	Modelo	Princípios	Registros	Transformações	Representação	Juízos cognitivos		Juízos de valor
A	0,50	0,50	1,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,50	1,50	1,00	8,90
B	0,50	0,50	0,83	0,50	0,25	0,25	0,50	0,35	0,15	0,50	1,00	5,33
C												
D	0,50	0,50	1,10	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	1,50	1,00	8,10
E	0,50	0,50	1,50	0,50	0,25	0,50	0,50	0,35	1,50	0,50	1,00	7,60
F												
G												
H												
I	0,50	0,50	0,93	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	1,00	5,43
J	0,50	0,50	1,15	0,25	0,25	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	1,00	5,65
K	0,50	0,50	0,80	0,25	0,50	1,00	0,50	0,50	0,25	1,25	1,00	7,05
L	0,50	0,50	0,89	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	1,50	1,25	1,00	8,64
M												
N	0,50	0,50	0,77	0,50	0,25	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,25	4,77
O												
P	0,50	0,50	0,90	0,50	0,25	0,50	0,50	0,50	0,25	1,25	1,00	6,65
Q	0,50	0,50	0,72	0,00	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	1,00	5,22
R	0,50	0,25	0,85	0,50	0,25	0,50	0,15	0,35	0,25	1,25	1,00	5,85
S	0,50	0,50	0,95	0,50	0,50	0,50	0,35	0,50	0,25	0,50	1,00	6,05

Fonte: do autor.

Os dados da Tabela 18 revelaram que uma parcela dos alunos (7) apresentou uma pontuação menor do que o valor médio (6,56). A justificativa disso deveu-se às descrições do MODELO que não permitiram explicar satisfatoriamente o comportamento dos OBJETOS/ACONTECIMENTOS. Os PRINCÍPIOS e as REPRESENTAÇÕES elaborados também não foram suficientes para guiar a compreensão da ação significativa que ocorreu nos ACONTECIMENTOS/OBJETOS estudados. E, por fim, os JUÍZOS COGNITIVOS não

responderam a todas as questões-foco, além de em alguns casos serem observados erros conceituais.

Dentre os CONCEITOS listados pelos alunos, destacaram-se aqueles referentes à estrutura da matéria, às propriedades periódicas e às ligações químicas (covalente e iônica). Nesse “Vê”, os conceitos envolvidos na questão-foco foram: ligação metálica, brilho, condutividade, condutividade térmica, condutividade elétrica, coesão e maleabilidade. Os alunos A, R e S acrescentaram à lista de conceitos as teorias do orbital molecular e de bandas, embora estas palavras se refiram a teorias e não a conceitos.

As teorias propostas pelos alunos para explicar aos OBJETOS/ACONTECIMENTOS estudados foram a TOM e a teoria de bandas. Em alguns casos, as duas teorias foram citadas. Assim, construções como as seguintes foram observadas: “*TOM (Teoria de bandas)*”, “*Teoria dos orbitais moleculares ou de bandas*”, “*Teoria do orbital molecular (teoria de bandas) e teoria de ligação de valência*”, “*Teoria dos orbitais de banda*”. Nesses casos, percebeu-se que os estudantes não tinham, em suas estruturas cognitivas, uma diferenciação clara entre as duas teorias, de modo que foram compreendidas como apresentando o mesmo significado.

De acordo com Atkins e Jones (2006), a TOM pode ser usada para explicar as estruturas e as propriedades dos metais e semicondutores. A Teoria de bandas ultrapassa, no entanto, a ideia da sobreposição de orbitais atômicos para formar orbitais moleculares, pois as substâncias metálicas são formadas por vários átomos de um mesmo elemento químico. Desse modo, forma-se um número significativo de orbitais moleculares que, diferentemente do caso das moléculas pequenas, não apresentam energias muito espaçadas, mas seus níveis de energia estão tão próximos que se forma uma banda quase contínua (DUARTE, 2001).

As características apresentadas no parágrafo anterior diferenciam a TOM da Teoria de bandas, sendo que a primeira descreve bem as ligações covalentes e a segunda, as ligações metálicas. Ambas compartilham, no entanto, o conceito de superposição. Levando-se em consideração tais aspectos, pode-se dizer que o modelo quântico para o átomo, a TOM e o conceito de orbital atômico devem estar presentes na estrutura cognitiva dos alunos de forma clara, estável e diferenciada.

Quanto à escolha da TEORIA, assim como no caso do “Vê” anterior, as discussões estabelecidas em sala de aula podem ter contribuído para o ocorrido. Na aula introdutória sobre as ligações metálicas, o professor destacou primeiramente as propriedades das substâncias metálicas, tais como condutividade elétrica e térmica, brilho, maleabilidade e coesão. Posteriormente, abordou a ligação metálica com base na teoria dos elétrons livres, a

TLV e a TOM. A partir destas, discutiu-se sobre aquela que melhor explica as propriedades das substâncias metálicas e se concluiu que a TOM foi a mais indicada.

No processo de discussão mediado pelo professor para se encontrar uma teoria que explicasse satisfatoriamente todas as propriedades observadas para as substâncias metálicas, observou-se, porém, que os alunos ainda apresentaram incompreensões referentes às teorias já estudadas, conforme destacado na análise do terceiro e do quarto diagrama V. Tais incompreensões podem ser percebidas nos discurso seguinte.

Professor: *O que acontece quando os orbitais atômicos do lítio são misturados?*

Aluno N: *Forma uma ligação covalente.*

Professor: *Ligação covalente?*

Aluno N: *Iônica.*

Professor: *O que acontece quando as funções de onda se somam?*

Aluno N: *Ligação Sigma.*

Professor: *Forma um orbital ligante com energia menor. O que acontece quando as funções de onda são subtraídas?*

Aluno N: *Forma ligação Pi, porque é uma ligação não ligante.*

Aluno A: *É σ porque os orbitais s formam um Sigma ligante e um Sigma antiligante.*

Aluno S: *Pi não é ligação dupla?*

Professor: *De onde vem a ligação Pi?*

Aluno S: *Dos orbitais da lateral.*

Professor: *A ligação Pi surge da sobreposição lateral e ela de certo forma uma ligação dupla.*

A partir do discurso acima, se percebeu que as dificuldades do aluno N na compreensão das teorias estavam relacionadas ao fato de o mesmo não apresentar em sua estrutura cognitiva o modelo quântico do átomo. Além do mais, os mesmos não apresentam os conceitos de ligação iônica, de ligação covalente e de ligação metálica, diferenciados e reconciliados em sua mente. Isso dificultou o estabelecimento de relações entre os tipos de ligações e as teorias que as explicam. A ausência do modelo quântico contribuiu para o não entendimento dos conceitos de orbitais atômicos, de orbitais moleculares e de superposição de orbitais.

O aluno S, por sua vez, não apresentou em sua estrutura cognitiva a diferenciação e a reconciliação entre as teorias da TLV e TOM, como foi discutido na análise do quarto diagrama V. Isso pode ter contribuído para o não entendimento dos conceitos de ligação σ e π e orbitais moleculares σ e π .

Nesse sentido, a incompreensão dos conceitos mencionados nos parágrafos anteriores levou à incompreensão da TEORIA. Isso refletiu na descrição do MODELO, pois se observaram concepções alternativas. Exemplos destas são apresentados nas construções a seguir.

“Essa teoria explica porque a camada de valência tem mais orbitais atômicos que elétrons e mesmo que todos os elétrons participem de ligações normais, o átomo não pode atingir a estrutura de gás nobre”. (Aluno B)

A teoria dos orbitais moleculares ajuda a chegar na teoria de bandas. Nesta necessita de orbitais desemparelhados para ocorrer ligação química. [...] O número de orbitais reagindo tem o mesmo número de orbitais moleculares formando-se um ligante e outro antiligante. As ligações podem ocorrer frontal tendo ligações do tipo σ e ligações laterais sendo do tipo π ”. (Aluno E)

“Segundo o modelo de bandas, os orbitais moleculares são formados, e como há ligação metálica, para formar o metal há superposição das bandas de valência.”. (Aluno I)

“Como no metal possui uma superposição de átomos devido a sua estrutura, isso ultrapassa os orbitais moleculares, formando bandas essas bandas serão de valência, caracterizada por ser a última camada e características dos metais pois são responsáveis em conduzir eletricidade, térmica”. (Aluno J)

“Como os sólidos são eletropositivos ninguém quer perder seus elétrons, e na formação dos orbitais moleculares surge um orbital ligante e um anti-ligante, onde os elétrons não completam esses orbitais possibilitando os elétrons se moverem livremente entre os orbitais”. (Aluno R)

A partir de tais construções, observou-se que a ausência de um modelo quantomecânico para átomo bem elaborado e a diferenciação progressiva e reconciliação integradora dos conceitos relacionados às propriedades periódicas, na estrutura cognitiva dos alunos, contribuíram para o não entendimento do MODELO da formação da ligação metálica. Desse modo, foram comuns construções pautadas em concepções alternativas, como aquelas observadas no levantamento de concepções, no estudo inicial.

Na explicação da ligação metálica pelo aluno R, o conceito de eletropositividade foi utilizado de forma incorreta, ao se referir à tendência dos sólidos de não perderem elétrons. A concepção do octeto completo também foi evidenciada quando o estudante relatou que os elétrons, os quais não completam os orbitais ficam livres.

O aluno B justificou a presença de orbitais moleculares não preenchidos pelo fato de considerar que na camada de valência dos átomos há mais orbitais do que elétrons. Segundo

Atkins e Jones (2006) N orbitais atômicos fundem-se, entretanto, para formar uma banda com N orbitais moleculares. Do total destes, metade apresenta característica líquida ligante e a outra, antiligante. Quanto à ocupação dos elétrons, segue-se o princípio da construção. Assim, os orbitais de menor energia, ou seja, os ligantes serão ocupados primeiramente. Uma parte dos orbitais moleculares ficará, contudo, vazia ou incompleta. A esta banda formada, dá-se o nome de banda de condutividade.

Percebeu-se, a partir da descrição do aluno B, que ele ainda mantém a concepção da regra do octeto para a explicação das ligações, pois destacou que os átomos participantes da ligação metálica não atingem a configuração de gás nobre. Quanto à explicação da formação da ligação metálica pelo aluno E, evidenciou-se que, embora o mesmo apresente em sua estrutura cognitiva o modelo quantomecânico para o átomo, este não foi elaborado a fim de possibilitar a “ancoragem” da nova informação.

De acordo com o estudante E, a ocorrência da ligação metálica está atrelada à existência de orbitais desemparelhados. O mesmo utilizou o conceito de superposição com o significado de reação química. Além do mais, os conceitos referentes à TLV foram empregados nas explicações da TOM. Os conceitos de superposição de orbitais e de bandas também não foram compreendidos pelos alunos I e J. Para o primeiro, a ligação covalente é resultante da superposição de bandas e, de acordo com o segundo, as bandas são formadas pela superposição de átomos.

Ao longo das discussões deste e dos demais diagramas V, tem sido estabelecido um paralelo entre os conceitos e as teorias, isto é, considerou-se que o entendimento destas requer que os primeiros estejam presentes na estrutura cognitiva de forma clara, estável e diferenciada. Isso porque, como discutido por Novak e Gowin (1984), as teorias, assim como os princípios, consistem em relações entre conceitos. As teorias são, contudo, mais inclusivas que os princípios, já que incluem vários destes e conceitos. Desse modo, o entendimento das TEORIAS perfaz o entendimento dos significados dos conceitos.

Embora na descrição dos alunos A e D a explicação da formação de bandas tenha sido dada pela superposição de orbitais atômicos, a explicação do porquê isso ocorre não foi apresentada. Esta foi descrita pelo aluno P, da seguinte forma: *“quando há a sobreposição de orbital atômico dos elementos de caráter metálico com tendência a perder elétrons, o elétron se move entre os orbitais, formando bandas”*. Para esse aluno, as bandas são formadas devido ao movimento dos elétrons pelos orbitais. Em nenhum dos casos, os estudantes consideraram o efeito da proximidade dos níveis energéticos, revelando que os conhecimentos prévios,

relativos ao modelo quantomecânico, não estavam disponíveis na estrutura cognitiva, ou não foram utilizados para interpretar o modelo.

A mesma discussão do parágrafo anterior pode ser estendida a construção do aluno L. Segundo este, “[...] *quando ocorre a sobreposição dos orbitais atômicos, origina os orbitais moleculares, sendo que os orbitais moleculares numa substância metálica se encontram deslocalizados por todo o retículo cristalino e assim podem se reunir em uma banda de orbitais moleculares*”. Nesse caso, a formação de bandas foi descrita pela união de orbitais moleculares que se encontram deslocalizados na estrutura cristalina da substância.

Outras afirmações feitas pelos alunos A, D e L, sobre a formação de bandas referiram-se ao fato de que são formadas duas bandas, a de condução ou de condutividade, e a de valência, sendo que as bandas de condução consistem naquelas em que os orbitais moleculares encontram-se vazios, e os da de valência encontram-se preenchidos. Tais assertivas foram condizentes com a literatura, pois, conforme definido por Atkins e Jones (2006), a banda de valência consiste em uma região na qual os orbitais moleculares disponíveis estão preenchidos.

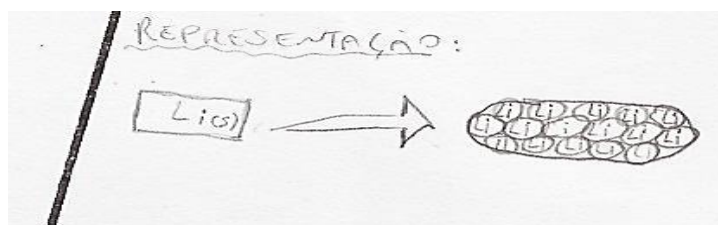
O aluno A acrescentou ainda, que o elétron do último nível preenchido consiste no nível de Fermi. Este conceito, segundo Duarte (2001), está, porém, relacionada ao estado de mais alta energia ocupado pelo elétron. Tal energia refere-se à função do trabalho do metal, ou seja, ao seu potencial de ionização. A incompreensão do aluno quanto ao referido conceito justificou-se pelo fato de este não ter sido trabalhado em sala de aula.

Embora os alunos tenham citado a TEORIA de bandas ou a TOM como aquelas que explicam as ligações químicas e as propriedades dos metais, a REPRESENTAÇÃO da maioria deles foi fundamentada no MODELO do “mar de elétrons”, como observado no desenho do aluno N, Figura 78. Em outras REPRESENTAÇÕES, como as dos alunos A, D, E e L, Figuras 79, 80, 81 e 82, respectivamente, os desenhos apresentaram características do MODELO de “mar de elétrons” e da estrutura cristalina, enquanto aqueles, dos alunos I, J, K, P, Q, R e S, foram baseados apenas nesta última.

Nos desenhos em que o metal foi representado em termos de sua estrutura cristalina, o modelo utilizado na maioria dos casos foi o de bolas e varetas, como aqueles das Figuras 84, 85 e 86. A diferença entre os mesmos esteve no tamanho e na distribuição das bolas. Outra REPRESENTAÇÃO em que se buscou evidenciar a estrutura cristalina dos metais foi a do aluno S, Figura 83. Esta se diferenciou, contudo, das primeiras pelo fato de as bolas terem sido desenhadas de modo a se “tocarem”. Outro ponto a ser destacado foi que nas

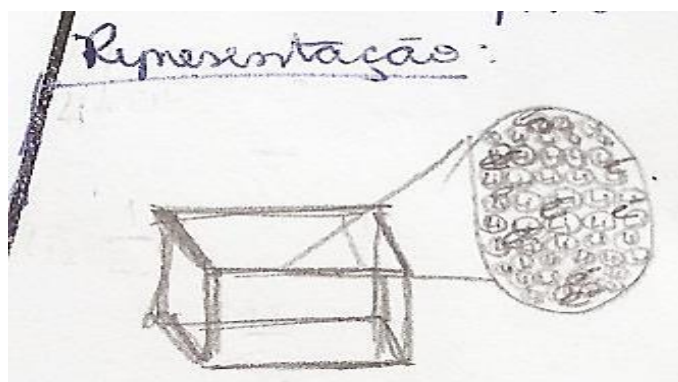
REPRESENTAÇÕES dos alunos I, J, K, P, Q, R e S, não foi apresentada uma legenda para identificar as bolas como uma espécie química.

Figura 78- Representação do aluno N para a substância $\text{Li}_{(s)}$, referente ao quinto diagrama V.



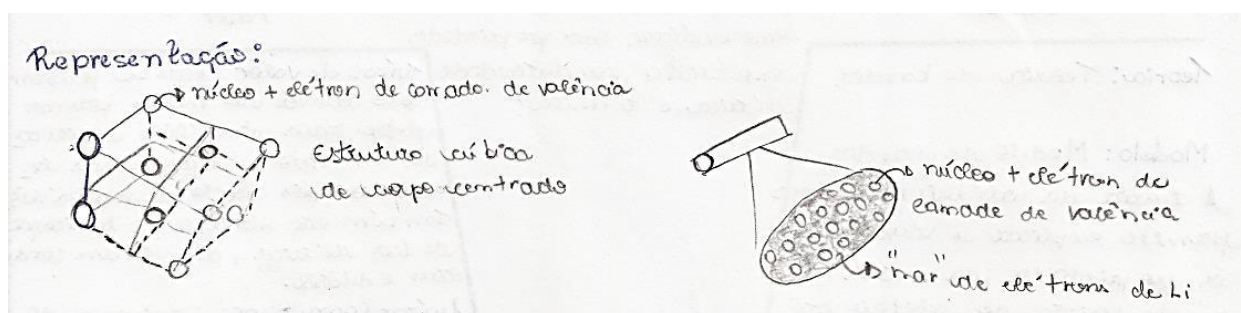
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 79- Representação do aluno A para a substância $\text{Li}_{(s)}$, referente ao quinto diagrama V.



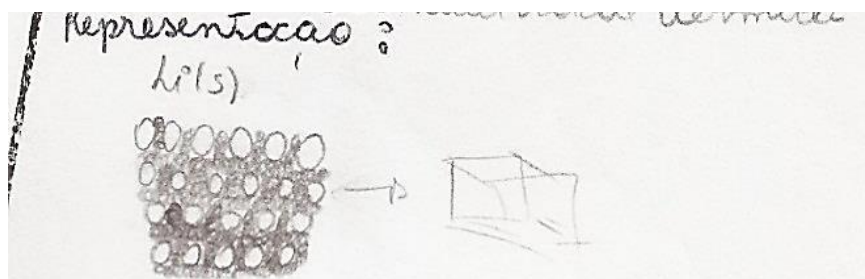
Fonte: dos sujeitos de pesquisa

Figura 80- Representação do aluno D para a substância $\text{Li}_{(s)}$, referente ao quinto diagrama V.



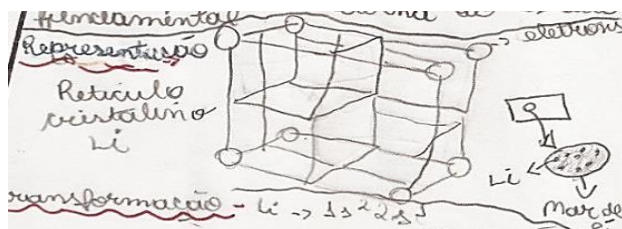
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 81- Representação do aluno E para a substância $\text{Li}_{(s)}$, referente ao quinto diagrama V.



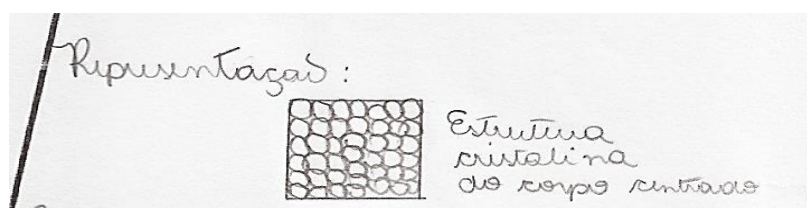
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 82- Representação do aluno L para a substância $\text{Li}_{(s)}$, referente ao quinto diagrama V.



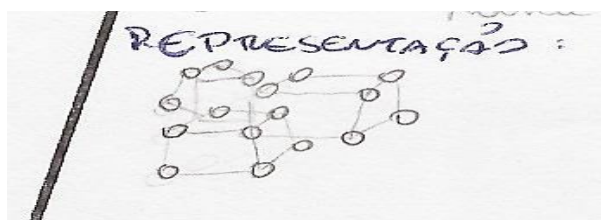
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 83- Representação do aluno S para a substância $\text{Li}_{(s)}$, referente ao quinto diagrama V.



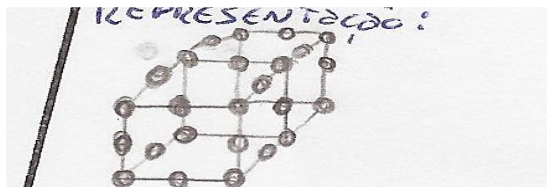
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 84- Representação do aluno K para a substância $\text{Li}_{(s)}$, referente ao quinto diagrama V.



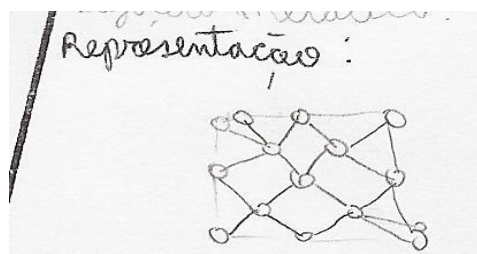
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 85- Representação do aluno P para a substância $\text{Li}_{(s)}$, referente ao quinto diagrama V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 86- Representação do aluno R para a substância $\text{Li}_{(s)}$, referente ao quinto diagrama V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Analisando-se as Figuras 80, 81, 82 e 83, percebeu-se que, embora os alunos tenham adotado o MODELO de bandas para explicar as ligações metálicas, a representação foi baseada no “mar de elétrons”. Isso pode estar associado ao grau de abstração na representação do metal em termos do modelo quantomecânico da ligação química, contribuindo, assim, para o uso de um modelo mais familiar, uma vez que muitos dos alunos não possuíam em suas estruturas o referido modelo para o átomo, bem elaborado.

Segundo o modelo de “mar de elétrons”, a substância metálica é compreendida como um amontoado organizado de íons metálicos positivos mergulhados num “mar de elétrons” livres. Essas ideias não foram, entretanto, evidenciadas nos desenhos dos alunos, uma vez que ao em vez de representarem os íons lítio representaram seus átomos. Na Figura 80, isso ficou bem evidente, pois o aluno D identificou as bolas como sendo o átomo de lítio (núcleo + elétron da camada de valência).

Quanto à REPRESENTAÇÃO tridimensional da substância $\text{Li}_{(s)}$, percebeu-se que os alunos não apresentaram um conhecimento da estrutura cristalina do referido metal. Isso foi observado inclusive nos desenhos dos alunos I, J e S, nos quais a estrutura foi classificada

como cúbica de corpo centrado. Nessas REPRESENTAÇÕES, a organização dos íons não foi condizente com a esperada.

De acordo com Lee (2006), o metal lítio exibe uma estrutura cúbica de corpo centrado (CCC), na qual cada cátion de lítio apresenta oito vizinhos próximos e mais outros seis vizinhos. Desse modo, a cela unitária da estrutura tridimensional do lítio deveria apresentar um cátion de lítio no centro de um cubo e um cátion de lítio em cada vértice dele.

Nos PRINCÍPIOS, os alunos buscaram propor explicações para as propriedades dos metais, citadas na QUESTÃO-FOCO e, para a natureza da ligação química presente nos mesmos. Esta última foi, contudo, observada apenas nas construções dos alunos A e E, nas quais os conceitos de energia de ionização e de eletropositividade foram utilizados para justificar a tendência dos metais em perder elétrons.

Segundo os estudantes citados no parágrafo anterior, os átomos são mantidos unidos em um metal pelos elétrons deslocalizados, que consistem na força de coesão. A origem desses elétrons não foi, entretanto, mencionada, fazendo-se entender, assim como revelado na REPRESENTAÇÃO, que as bolas desenhadas referiram-se a átomos de lítio e, não, ao seu cátion.

Embora o aluno A tenha apresentado uma descrição coerente com a literatura para o MODELO de bandas, a REPRESENTAÇÃO e os PRINCÍPIOS forneceram indícios de que o mesmo não compreendeu o significado da ligação química segundo o referido modelo. Além do mais, os estudantes A e E não apresentaram um entendimento claro do conceito de coesão e sua relação com a manutenção da estrutura cristalina. Em um metal, são as forças de atração e de repulsão entre os cátions e os elétrons que mantêm a estrutura. Pelas construções dos alunos A e E, deu-se a entender que o “mar de elétrons”, que é formado pelos elétrons deslocalizados, funciona como uma espécie de “cola” que mantém os átomos de lítio presos na estrutura metálica.

Nos PRINCÍPIOS referentes às propriedades dos metais, apresentaram-se explicações para o brilho e para a condutividade elétrica e térmica. Com relação à primeira, a maioria dos alunos relatou que o brilho origina-se do processo de absorção e de emissão de energia luminosa, pelo material. Já as últimas, foram associadas ao movimento dos elétrons. Não se observaram, contudo, explicações para a mobilidade dos elétrons, isto é, os estudantes não fizeram uso da teoria de bandas para interpretar as propriedades do metal.

Quanto à mobilidade dos elétrons, Lee (2006) relata que esta é devida aos fatores energéticos, isto é, os níveis energéticos dos orbitais moleculares estão situados uns muito

próximos dos outros, bastando, desse modo, uma pequena quantidade de energia para promover um elétron para um orbital molecular desocupado.

Uma explicação mais elaborada para as propriedades dos metais foi apresentada pelos alunos A e E, embora estas tenham sido incoerentes com os pressupostos da TOM. Tais construções são apresentadas a seguir.

“O brilho provém do retorno de e^- excitados do nível fundamental de seu átomo. Já a condutividade elétrica é proveniente do retorno de elétrons excitados para nível fundamental de outros átomos. Por fim, a condutividade térmica provém da mobilidade dos elétrons sobre toda a superfície, uma vez que os elétrons, quando “passam” de um átomo para o outro, liberam energia”. (Aluno A)

“Os metais possuem brilho pelo fato de ter energia baixa e utilizar a energia luminosa e ao retornar para o seu estado fundamental este emitem essa luz. [...] A propriedade térmica se dá pelo movimento de elétrons que gera calor e conduz entre os e^- deslocalizados. Pelas bandas temos que o metal possui energia igual a energia luminosa que é necessária para excita-lo quando volta para o estado fundamental o elétron volta para o orbital de outro átomo dando assim condução elétrica”. (Aluno E)

A análise das construções dos alunos A e E revelou que os mesmos não apresentaram um entendimento claro sobre as propriedades dos metais segundo a teoria de bandas, pois descreveram o fenômeno da transição eletrônica em termos de orbitais atômicos, enquanto que o mesmo se dá em termos de orbitais moleculares. Isso reforça a conclusão de que os estudantes não compreenderam o MODELO proposto para explicar as ligações metálicas. Segundo Lee (2006), a elevada mobilidade dos elétrons se deve ao fato de que os orbitais moleculares estão distribuídos sobre todos os átomos do cristal, justificando, assim, a condutividade térmica e elétrica.

A mobilidade eletrônica é resultante da transição de elétrons de um orbital molecular ocupado para outro vazio. Essa transição ocorre da banda de valência para a banda de condução, na qual os elétrons podem se deslocar pelo sólido, carregando uma corrente elétrica. Quando uma das extremidades do metal é aquecida, os elétrons que se encontram nessa extremidade adquirem energia e se deslocam para orbitais moleculares vazios, através do qual podem migrar rapidamente para qualquer parte do metal, conduzindo calor. Assim, a condução ocorre porque não há uma diferença de energia efetiva entre os orbitais moleculares ocupados e os vazios (LEE, 2006).

A maioria dos alunos considerou os dados fornecidos na QUESTÃO-FOCO referentes às propriedades do metal $\text{Li}_{(s)}$, como REGISTROS. Nas TRANSFORMAÇÕES, elaboraram-

se diagramas de níveis de energia para molécula de lítio (Li_2), e para o metal $\text{Li}_{(s)}$, destacando-se as bandas de condutividade e valência.

A partir das TRANSFORMAÇÕES, identificaram-se alguns erros conceituais referentes à TEORIA e ao MODELO de bandas. Dentre os erros observados, destacaram-se os seguintes:

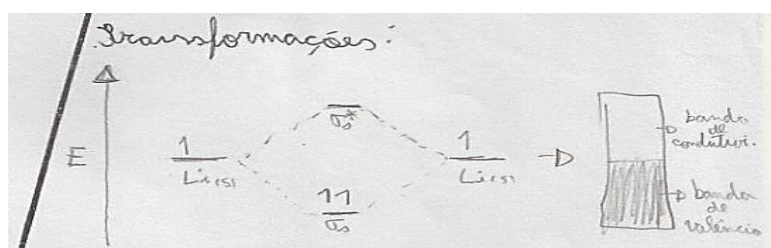
a) identificar os orbitais atômicos como a representação do metal ($\text{Li}_{(s)}$), como apresentado pelo aluno R, Figura 87;

b) considerar que os orbitais moleculares da banda de valência do $\text{Li}_{(s)}$ estão todos preenchidos, como observado para todos os alunos, conforme ilustrado no exemplo da Figura 88;

c) classificar as bandas de valência como LUMO e as bandas de condutividade como HOMO;

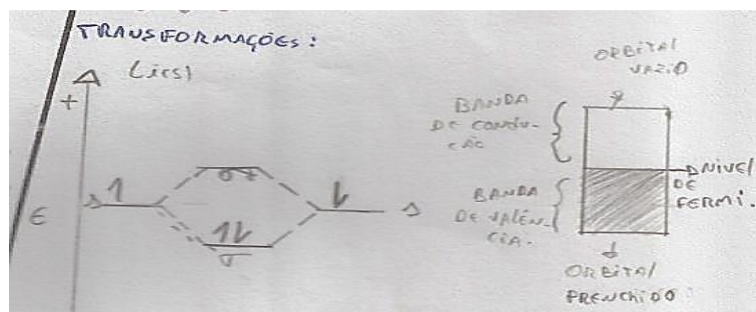
d) atribuir dois elétrons de valência ao átomo de lítio, conforme percebido na Figura 89.

Figura 87- Transformação do aluno R em termos das bandas do Lítio ($\text{Li}_{(s)}$), referente ao quinto diagrama V.



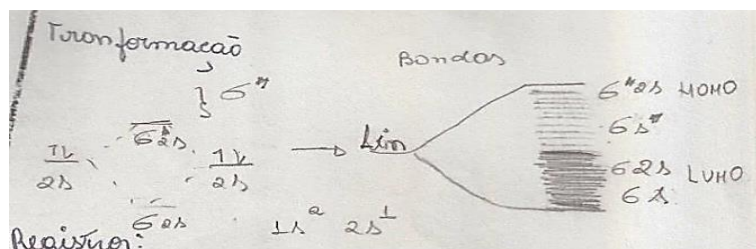
Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 88- Transformação do aluno K em termos das bandas do Lítio ($\text{Li}_{(s)}$), referente ao quinto diagrama V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 89- Transformação do aluno E em termos das bandas do Lítio ($Li_{(s)}$), referente ao quinto diagrama V.

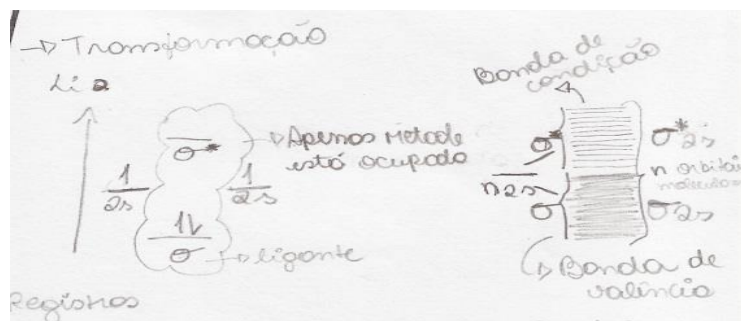


Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Os erros apresentados pelos alunos estão associados à incompreensão que os mesmos têm do MODELO, da TEORIA e dos CONCEITOS relacionados aos OBJETOS/ACONTECIMENTOS estudados. Embora os estudantes tenham representado o diagrama de níveis de energia do Li_2 e aquele para o Li_n , percebeu-se que a transição do primeiro para o segundo não foi de fato compreendida. Isso foi identificado porque alguns alunos não indicaram que a representação das bandas se tratava de um sistema originado de N átomos de lítio, dando a entender que os dois diagramas representavam a mesma situação, como exemplificado na TRANSFORMAÇÃO do aluno R, Figura 89. Isso não coincide, no entanto, com o que é relatado na literatura.

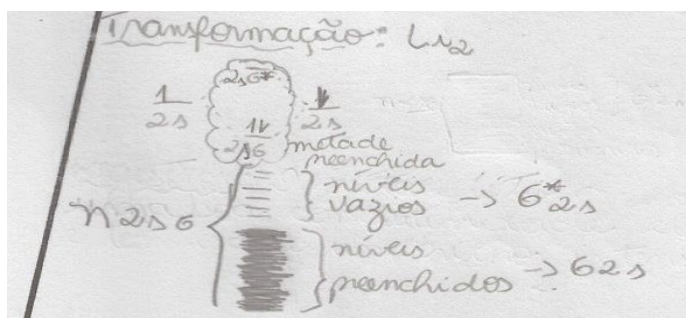
Segundo Lee (2006), como os átomos de lítio apresentam apenas um elétron de valência e os orbitais moleculares formados acomodam no máximo dois elétrons, espera-se que a metade dos orbitais moleculares da banda de valência $2s$ fosse ocupada. Os alunos J e I Figuras 90 e 91, fizeram, no entanto, referência à ocupação da metade dos orbitais moleculares da molécula de Li_2 e não daqueles do metal.

Figura 90- Transformação do aluno J em termos das bandas do Lítio ($Li_{(s)}$), referente ao quinto diagrama V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 91- Transformação do aluno I em termos das bandas do Lítio ($\text{Li}_{(s)}$), referente ao quinto diagrama V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Quanto aos JUÍZOS COGNITIVOS, observou-se que as explicações para as propriedades do $\text{Li}_{(s)}$ foram semelhantes às aquelas propostas nos PRINCÍPIOS. Exemplos destas construções foram aquelas apresentadas pelos alunos D e L, Figuras 92 e 93, respectivamente, nas quais ao brilho atribuiu-se o fenômeno das transições eletrônicas e à condutividade, a existência de elétrons livres.

Com relação à explicação da natureza da ligação química presente no $\text{Li}_{(s)}$, encontraram-se construções semelhantes às apresentadas a seguir.

“Ligação metálica, pois possui alta reatividade, PF e PE altos, átomos grandes, então possui EI maior, ele perde elétrons e baixa eletronegatividade”. (Aluno J)

“O lítio possui baixa energia de ionização e muito eletropositivo tendência a perder os elétrons, havendo na ligação o compartilhamento de elétrons”. (Aluno E)

“A ligação metálica é favorecida, pois há três orbitais 2p vazios na camada de valência e orbitais moleculares vazios”. (Aluno I)

“Ligações metálicas que são ligações entre vários átomos eletropositivos, o que ocasiona o movimento dos elétrons entre os orbitais”. (Aluno K)

“A ligação presente no lítio é a metálica, pois se trata de dois átomos com tendência a perder elétrons de valência”. (Aluno P)

“Ligações metálicas entre vários átomos eletropositivos”. (Aluno B)

“A natureza das ligações são iônicas e metálicas. Nas iônicas formando óxidos e hidretos, e nas metálicas, através do mar de elétrons”. (Aluno N)

Figura 92- Diagrama V do aluno D, referente à ligação metálica.

Diagrama V

Conceitual/Teórico
Pensar

Questão-foco:
Qual é a natureza das ligações químicas presentes no Li(s)?
Como explicam suas propriedades?

Metodológico
Fazer

Teoria: Teoria de bandas

Modelo: Modelo de bandas

A teoria das orbitais moleculares permite explicar a diferença das propriedades dos metais, devido a sobreposição de orbitais atômicos, resultando na formação de orbitais moleculares, que estão deslocalizados sobre toda a estrutura cristalina, formando as bandas de condução. A banda de condução formada pelos OMs no limite inferior são formadas pelos orbitais s, p, d. A região de orbitais moleculares vazios são chamadas de banda de valência e as orbitais preenchidas são a banda de valência.

Princípios: A condutividade ocorre pelo movimento dos elétrons, isso ocorre quando os elétrons são submetidos a uma energia, e excitados os elétrons para para o nível de maior energia, ou seja, de HMO para LUMO, ocorrendo de inversamente. Quando os elétrons livres absorvem energia da luz, permitem na forma de fótons, na qual são absorvidos e refletem no metal, o que provoca o brilho. Por fim a maleabilidade é resultado da baixa força das ligações, ou seja, a força de coesão que apresentam um baixo nível de deformação.

Conceitos: Vires

Objetos: Lítio (Li)

Acontecimentos: ligação metálica do lítio e suas propriedades, tais como brilho, condutividade elétrica e térmica.

usmp brilho, condutividade elétrica e térmica?

juízos de valor Pode-se verificar que vários dos metais podem sofrer vários usos, desde utensílios domésticos em casa até os mais sofisticados em navegação espacial, pois devido a maleabilidade também são utilizados na fabricação de fios elétricos, pois são bons condutores e dúctil.

juízos cognitivos: A natureza da ligação química presente no lítio é a ligação metálica. O brilho, a condutividade elétrica e térmica, são explicadas pelo movimento dos elétrons, que são responsáveis por suas propriedades em relação aquecimento ou também em ondas curtas formadas de compostos iônicos. Desse modo os elétrons livres movem-se livremente, pois os elétrons são excitados para níveis mais elevados e retornam ao estado fundamental emitindo brilho na luz.

Representação: Verso. minúsculo

Transformações
 $Li \rightarrow [He] Li^+$

Banda de condução

Registros: Verifica-se a formação da ligação metálica. Pode-se notar de um metal que possui um boa condutividade elétrica e térmica, brilho característico, dúctil e maleável.

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 93- Diagrama V do aluno L, referente à ligação metálica.

Diagrama V

Conceitual/Teórico
Pensar

Questão-foco:
Qual a natureza das ligações químicas presentes no $Li(s)$?

Metodológico
Fazer

Teoria → Teoria de bandas.
Modelo → Modelo de bandas.
Através da Teoria dos orbitais moleculares (TOM), consegue-se entender e descrever as propriedades dos metais, logo quando ocorre a sobreposição dos orbitais atômicos, surgem os orbitais moleculares, sendo que os orbitais moleculares numa substância metálica se encontram deslocalizados por todo o retículo cristalino e assim podem se reunir em uma banda de orbitais moleculares. No limite inferior das bandas os OM's são ligantes, a região dos OM's vazios ou incompletos é chamada banda de condução, já a região que contém orbitais preenchidos é chamada de banda de valência.

Princípios → Para haver condução de eletricidade é necessário que haja o movimento dos e^- , isso é uma característica dos metais. O brilho ocorre quando os e^- livres do metal absorvem radiação luminosa e reemitem quando o e^- volta ao seu estado fundamental. Essa reemissão provoca o brilho característico dos metais, já a maleabilidade é explicada porque os metais apresentam pequena resistência a deformação, essa estrutura permanece unida devido a uma força de coesão forte.

Quanto ao valor → Os metais são de grande importância nas indústrias, pois podem formar ligas, fios, por causa da sua maleabilidade, e se isso não fosse possível não haveria muitos utensílios → duge coesivos → a ligação química presente no metal é a ligação metálica. A condução de eletricidade pelo movimento de e^- que contraria como o movimento dos íons, responsável pela condução elétrica em soluções aquosas ou ametal fundido de compostos, já o brilho se deve aos e^- livres nos metais, que absorvem a energia da luz e emitem quando retornam ao estado fundamental.

Representação
Retículo cristalino
 Li

Transformação - $Li \rightarrow 1s^2 2s^1$

parte não preenchida
parte preenchida

Menor energia = mais atômico
De e^- pode saltar de orbital s para o orbital p , movimento que explica o brilho, a condutividade e coesão.

Ligantes → Nota-se que o $Li(s)$ forma ligação metálica, por ser um metal apresenta brilho, é um bom condutor de eletricidade e calor, dúctil e maleável.

Objetos: $Li(s)$

Acontecimentos: Ligação metálica no Li , e suas propriedades como brilho, condutividade elétrica e térmica.

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Nos JUÍZOS COGNITIVOS, o aluno J buscou explicar a natureza das ligações químicas presentes no $\text{Li}_{(s)}$, a partir dos conceitos de reatividade, de ponto de fusão e de ebulição. Esses últimos conceitos, referem-se, contudo, às propriedades físicas da substância e não permitem explicar a natureza das ligações químicas. Em contrapartida, as propriedades periódicas poderiam ter sido utilizadas para a explicação da mesma, pois a baixa energia de ionização, associada à alta eletropositividade dos átomos de lítio e ao fato da substância $\text{Li}_{(s)}$ ser formada por átomo de um mesmo tipo, justifica a ligação metálica e exclui a possibilidade de a mesma ser covalente ou iônica.

As explicações fornecidas pelo aluno J revelaram que o mesmo não compreendeu a ligação metálica segundo o MODELO de bandas nem apresentou em sua estrutura cognitiva as diferenças e semelhanças entre as interações interatômicas e intermoleculares. A incompreensão da TOM pode ter contribuído para a elaboração de JUÍZOS COGNITIVOS pautados em concepções alternativas. Isso foi observado nas construções dos estudantes apresentadas anteriormente.

O aluno E relatou que na ligação metálica ocorre o compartilhamento de elétrons, mas esta característica é observada nas ligações do tipo covalente. A ligação química presente na substância $\text{Li}_{(s)}$ foi determinada pelo estudante N como sendo iônica e metálica. Tais concepções revelaram que os alunos não apresentaram em suas estruturas cognitivas a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora dos conceitos de ligação iônica, covalente e metálica.

Outra consideração a ser feita foi referente ao não entendimento da diferença entre os conceitos de orbital atômico e molecular. O aluno I fez uso do conceito de orbital atômico para explicar as ligações metálicas segundo a TOM.

Embora os alunos não tenham apresentado um entendimento sobre o conceito de ligação metálica e da teoria que a explica, a maioria deles elaborou JUÍZOS DE VALOR coerentes com o conhecimento esperado. Isso pode estar relacionado aos aspectos do cotidiano, pois as propriedades dos metais os capacitam para serem empregados em diversas situações do dia-a-dia. Alguns exemplos dessas construções são apresentados a seguir.

“Pode-se verificar que através dos metais podemos obter vários utensílios utilizados em nosso cotidiano e nas indústrias, pois devido ser maleáveis também são utilizados na fabricação de fios elétricos, pois são bons condutores e dúctil”. (Aluno D)

“Pelos metais serem bons condutores de energia e calor, são mais usados em painéis (fabricação) e fios”. (Aluno I)

“Pelo fato de ocorrer essa ligação, hoje podemos obter materiais maleáveis de trabalhar que podem adquirir diferentes formatos”. (Aluno E)

A análise dos diagramas em geral mostrou que a maioria dos alunos não compreendeu a ligação metálica segundo a TOM e o MODELO de bandas. Isso pode estar associado ao não entendimento dos significados dos conceitos necessários à interpretação das mesmas. Embora o modelo do “mar de elétrons” tenha sido utilizado por grande parte dos alunos para representar a substância $\text{Li}_{(s)}$, percebeu-se que o mesmo não revelou o entendimento do conceito de ligação covalente, pois os alunos não identificaram em seus desenhos a origem dos elétrons que “compõem” o mar de elétrons. De modo, que em vez de representarem íons, representaram átomos de Li.

Assim como no caso dos demais diagramas V, o entendimento das ligações químicas segundo as teorias da mecânica quântica, pode estar relacionado à ausência do modelo quantomecânico do átomo na estrutura cognitiva dos alunos ou à não elaboração deste a partir de associações com a nova informação. Assim, o conhecimento produzido foi resultante de uma aprendizagem memorística ou fundamentada em concepções alternativas.

4.2.6 Análise do mapa conceitual final

O último mapa conceitual consistiu naquele elaborado para os diagramas três, quatro e cinco, de modo que o contexto de sua construção foi definido pelas questões-foco destes “Vês”. Dentre os conceitos mapeados, entretanto, apareceram aqueles referentes ao primeiro e ao segundo diagrama. Assim, pôde-se ter uma visão geral das relações que os alunos estabeleceram entre os conceitos estudados durante a disciplina de Química Inorgânica I, a partir das proposições válidas, da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora.

Vale ressaltar que esse mapa foi construído após a elaboração do quinto diagrama V, enquanto que os demais foram elaborados juntamente com os “Vês” a que se referiram. Para isso, foi fornecida aos alunos uma lista com os conceitos referentes aos dois primeiros diagramas V e aqueles relacionados aos três últimos deveriam ser propostos pelos mesmos.

Dentre os conceitos fornecidos, destacaram-se os seguintes: substância; átomo; elemento químico; tabela periódica; estrutura atômica; configuração eletrônica; propriedades periódicas; raio atômico; energia de ionização; afinidade eletrônica; eletropositividade; eletronegatividade; metais; ametais; semimetais; ligações químicas; energia de rede; retículo

cristalino; ponto de fusão; ponto de ebulição; solubilidade e íons. Os conceitos ligação iônica; ligação covalente; ligação metálica; forças intermoleculares; molécula; energia de ligação; comprimento de ligação e condutividade deveriam ser propostos pelos alunos, pois consistiam nos conceitos-chave dos três últimos “Vês”.

A pontuação atribuída aos mapas segundo os critérios de análise estão dispostos na Tabela 19.

Tabela 19- Pontuação dos mapas conceituais, referentes aos terceiro, quarto e quinto diagramas V do estudo final, segundo os critérios de análise.

Alunos	Critérios									
	Conceitos	Palavras de ligação	Proposição	Hierarquia	Segmentos	Ligações cruzadas	Exemplos	Q	Pontos	Q
A	23	(-)	12×1=12	3×5=15	7×5=35	(-)	()	1,0	85	85×1,0=85
B	(-)	(-)	(-)	(-)	3×5=15	()	()	0,5	15	15×0,5=7,5
C										
D	14	(-)	13×1=13	1×5=5	1×5=5	(-)	()	1,0	37	37×1,0=37
E	37	11×3=33	14×1=14	4×5=20	2×5=10	0	()	1,0	114	114×1,0=114
F										
G										
H										
I	16	(-)	()	(-)	2×5=10	()	()	0,5	26	26×0,5=13
J	19	3×3=9	10×1=10	(-)	2×5=10	()	()	1,0	48	48×1,0=48
K	0	3×3=9	4×1=4	(-)	(-)	(-)	()	0,5	13	13×0,5=6,5
L	8	0	(-)	(-)	3×5=15	(-)	()	0,5	23	23×0,5=11,5
M										
N	11	(-)	(-)	(-)	(-)	()	()	0,5	11	11×0,5=5,5
O	(-)	(-)	4×1=4	(-)	(-)	0	2×1=2	0,5	6	6×0,5=3,0
P	(-)	0	10×1=10	(-)	3×5=15	(-)	()	0,5	25	25×0,5=12,5
Q	(-)	2×3=6	(-)	(-)	(-)	()	()	0,5	6	6×0,5=3,0
R	(-)	5×3=15	3×1=3	(-)	0	(-)	()	0,5	18	18×0,5=9,0
S	8	(-)	(-)	0	1×5=5	(-)	1×1=1	0,5	14	14×1,0=14

Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

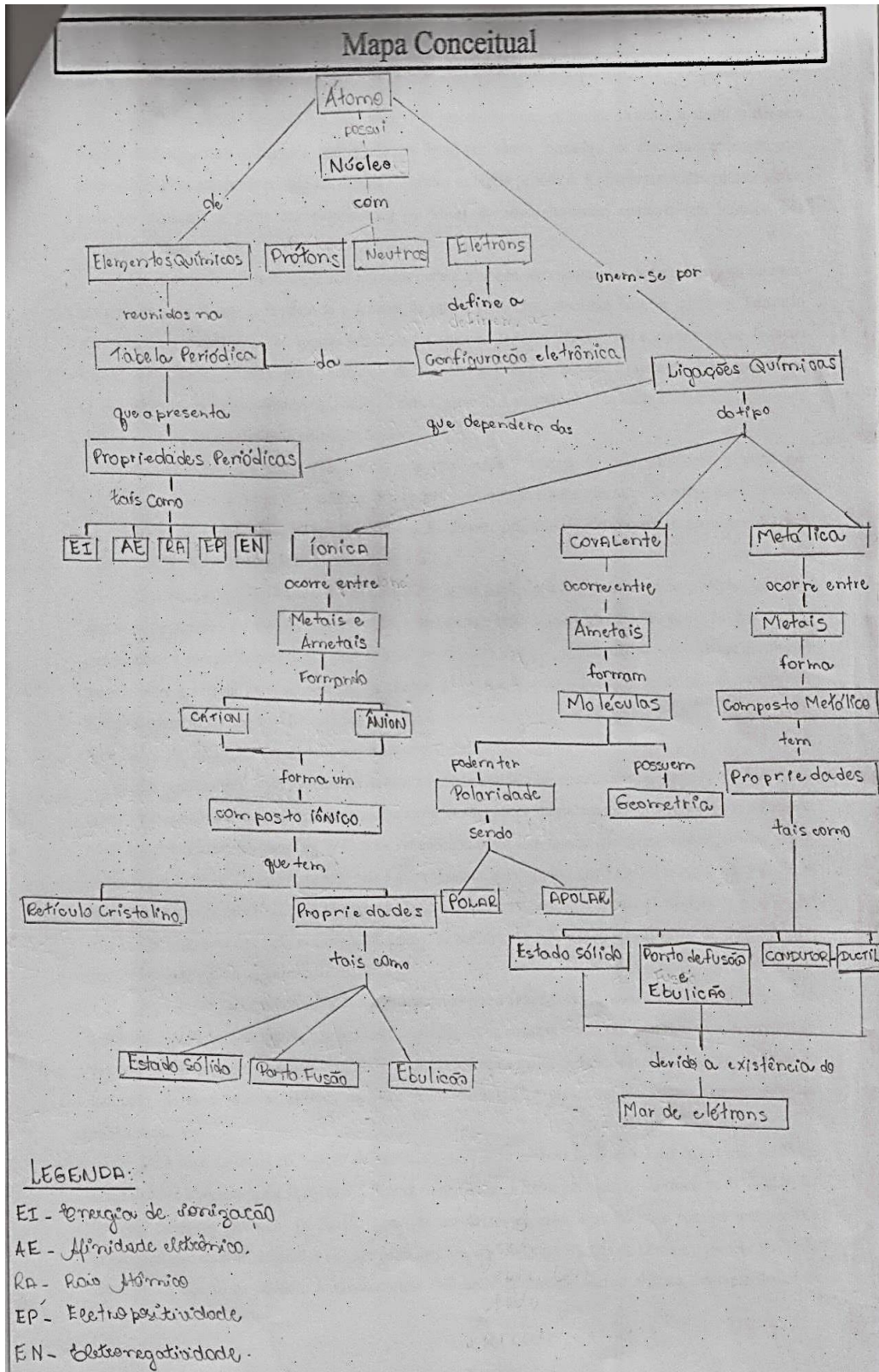
Nota: ¹ Os sinais (-) indicam que a soma dos fatores corretos e incorretos foi negativa, e desse modo não contabilizados. ² O símbolo () indica que os fatores ao qual se referem não foram identificados. ³ O valor zero indica que a soma dos fatores corretos e incorretos foi zero.

A partir dos dados apresentados na Tabela 19, percebeu-se que os valores atribuídos ao índice de qualidade Q não foram os mesmos para todos os alunos, sendo 0,5 ou 1,0. Esses valores justificaram-se pelo fato de que os mapas analisados não apresentaram características de um mapa excelente, ao qual seria atribuído o valor de 1,5. As relações propostas foram pouco significativas e não levaram às respostas das questões-foco. Alguns mapas conceituais analisados assemelharam-se a fluxogramas ou as relações apresentadas levaram à formação de frases. Tais características foram evidenciadas nos mapas conceituais dos alunos D e N (FIGURAS 94 e 95) desde a construção do primeiro instrumento referente ao artigo científico.

A manutenção da estrutura percebida nos mapas conceituais citados pode estar relacionada às dificuldades reveladas com a análise dos mapas conceituais de teste apresentada no estudo inicial e com o treinamento, uma vez que esses alunos não participaram de todas as aulas referentes à instrução e apresentação da ferramenta, principalmente naquelas em que se discutiu sobre as qualidades de um bom mapa conceitual, a partir daqueles diagramas construídos pelos alunos. Tais colocações revelam que o treinamento da técnica é de grande relevância para a obtenção de bons mapas conceituais e conseqüentemente para o sucesso da técnica em revelar a estrutura de significados conceituais que o aluno possui.

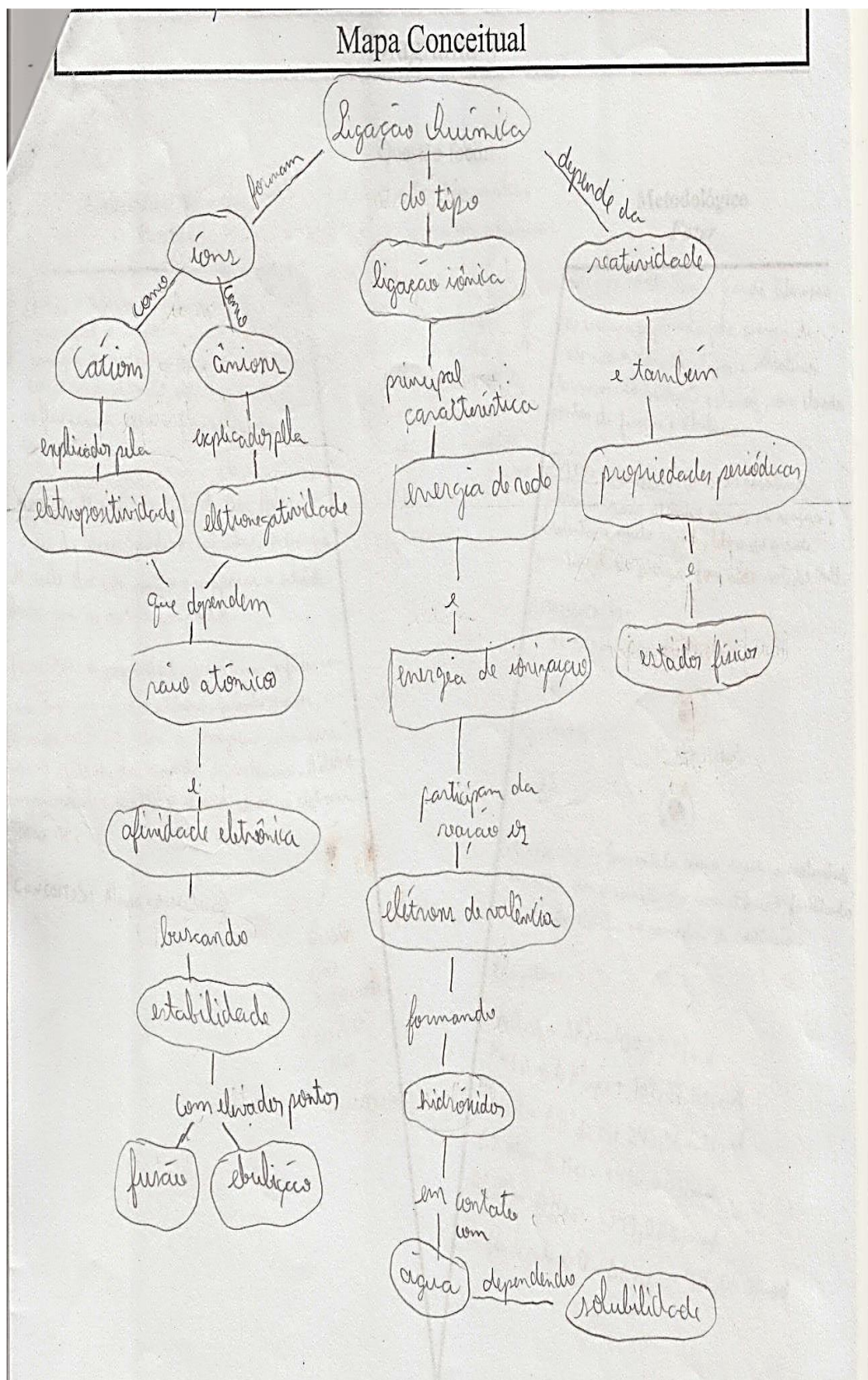
Aguiar (2012) destaca que a compreensão de que os mapas conceituais levam sempre à resposta a uma questão focal e que a escolha dos conceitos e das proposições é norteadas por essa questão, é de grande relevância para que a demanda cognitiva necessária para a ocorrência da aprendizagem significativa seja garantida. Além do mais, a clareza semântica das proposições assegura aos mapas a máxima comunicabilidade, revelando de fato o que o aluno aprendeu sobre o tema. Por isso, o não entendimento dos conceitos centrais, das proposições e da questão focal, indica uma incapacidade dos estudantes em utilizarem a técnica com sucesso.

Figura 94- Mapa conceitual do aluno D, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagramas V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 95- Mapa conceitual do aluno N, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto Diagramas V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

O valor de 0,5 foi atribuído aos mapas em que os critérios de análise não foram satisfeitos. Nesse caso, as proposições foram pouco significativas, sem clareza e com erros conceituais. As hierarquias e as relações cruzadas também foram pouco significativas do ponto de vista químico e semântico. Já o valor de 1,0, esteve associado aos mapas em que um número maior de proposições, de hierarquias, de segmentos e de ligações cruzadas válidas foi observado.

A partir dos valores apresentados na Tabela 19, calcularam-se os valores de \bar{x} (média) e σ (desvio padrão), por meio das equações, (1) e (2) e se elaborou a Tabela 20. Os valores de \bar{x} calculado foi 26,39 e o valor de σ foi 33,99.

Tabela 20- Notas dos mapas conceituais, referentes aos terceiro, quarto e quinto diagramas V, segundo a distribuição em torno da pontuação média

-41,59	-7,60	26,39	60,38	94,37
Abaixo da média		Média	Acima da média	
0,5	0,75	1,0	1,25	1,5

Fonte: do autor.

Com base nos dados da Tabela 20, atribuíram-se aos mapas analisados os seguintes valores:

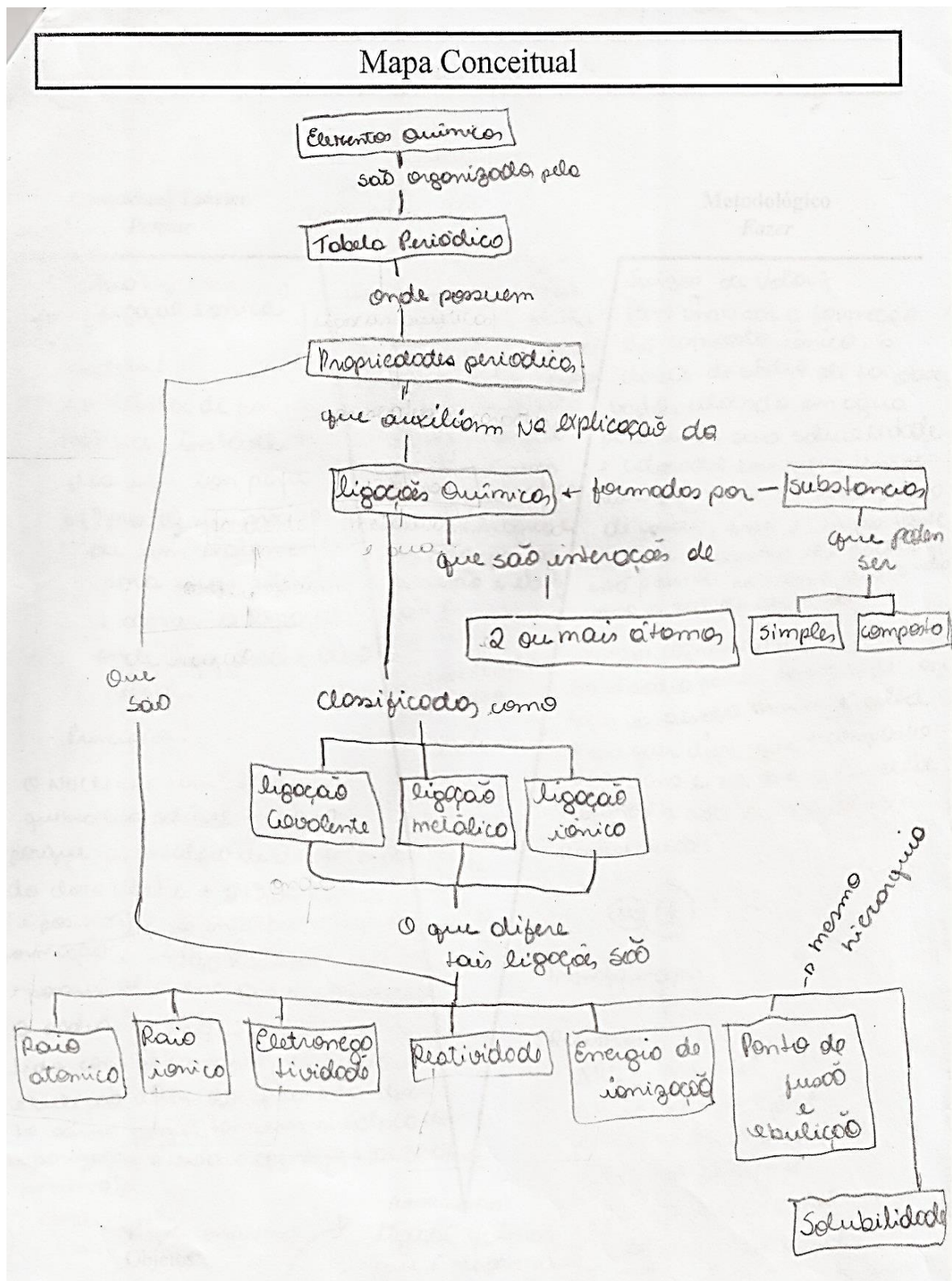
Aluno	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Nota	1,40	0,83	0,00	1,10	1,50	0,00	0,00	0,00	0,93	1,15
Aluno	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
Nota	0,80	0,89	0,00	0,77	0,72	0,90	0,72	0,85	0,95	

Os valores apresentados acima foram considerados na pontuação do terceiro, do quarto e do quinto diagramas V, no que se referiu ao elemento CONCEITO. A análise dos mapas revelou que, na maioria deles, os CONCEITOS relacionados aos últimos dois “Vês” não apareceram e nem todos os conceitos fornecidos foram mapeados. Percebeu-se também que muitas dos erros conceituais revelados em mapas anteriores e nos “Vês” permaneceram ao longo do processo de ensino. Exemplos desses erros foram identificados nos mapas dos alunos J e N.

Ao se comparar o mapa conceitual do aluno J referente ao segundo diagrama V (FIGURA 96) com este último (FIGURA 97), percebeu-se que o conceito de propriedades periódicas não foi compreendido, pois no primeiro, o estudante classificou os conceitos de configuração eletrônica e de reatividade como tipos de propriedades periódicas e, no segundo,

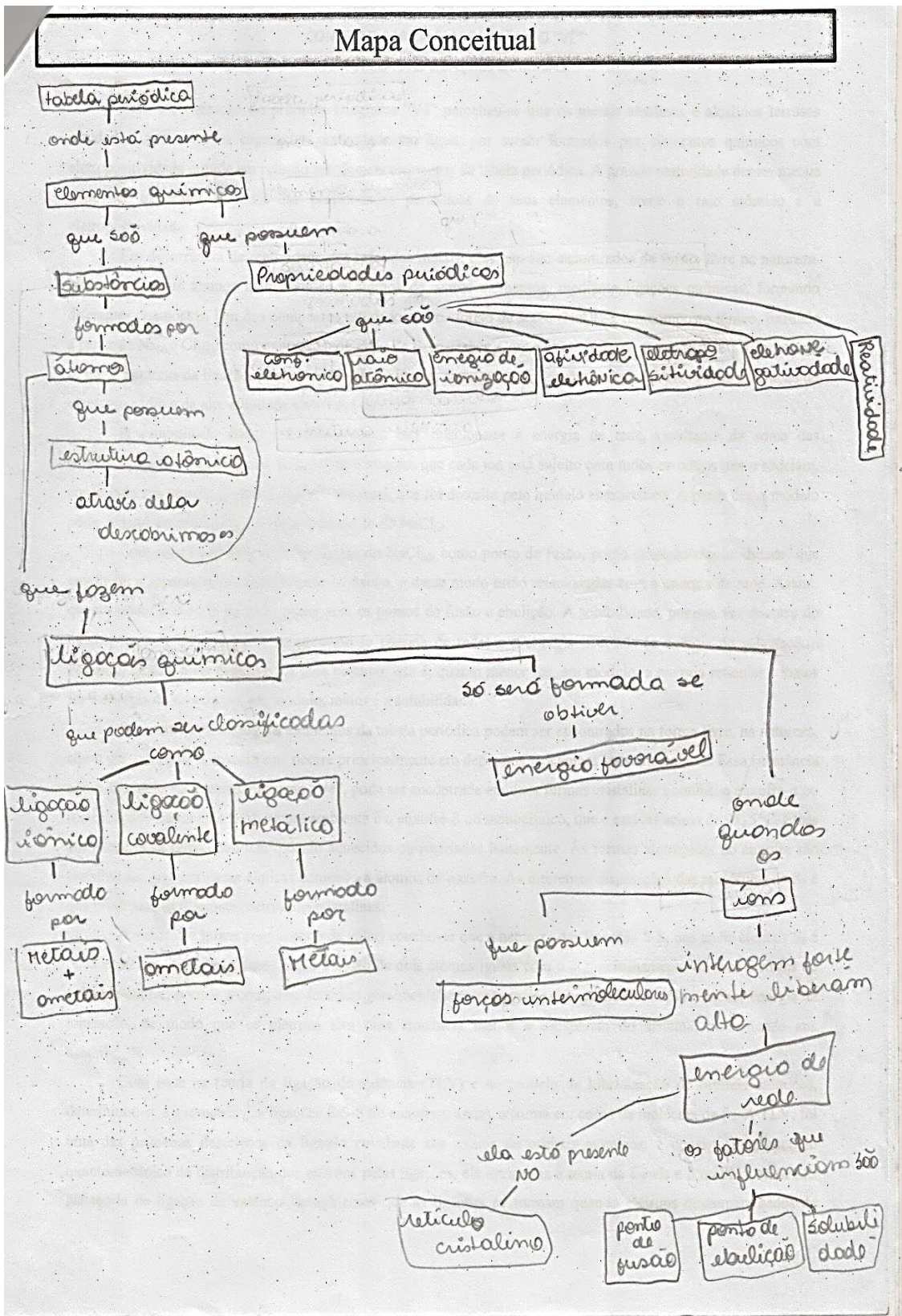
foram incluídos os conceitos de energia de ionização, de ponto de fusão e de ebulição e de solubilidade, e mantido o conceito de reatividade.

Figura 96- Mapa conceitual do aluno J, referente ao segundo diagrama V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

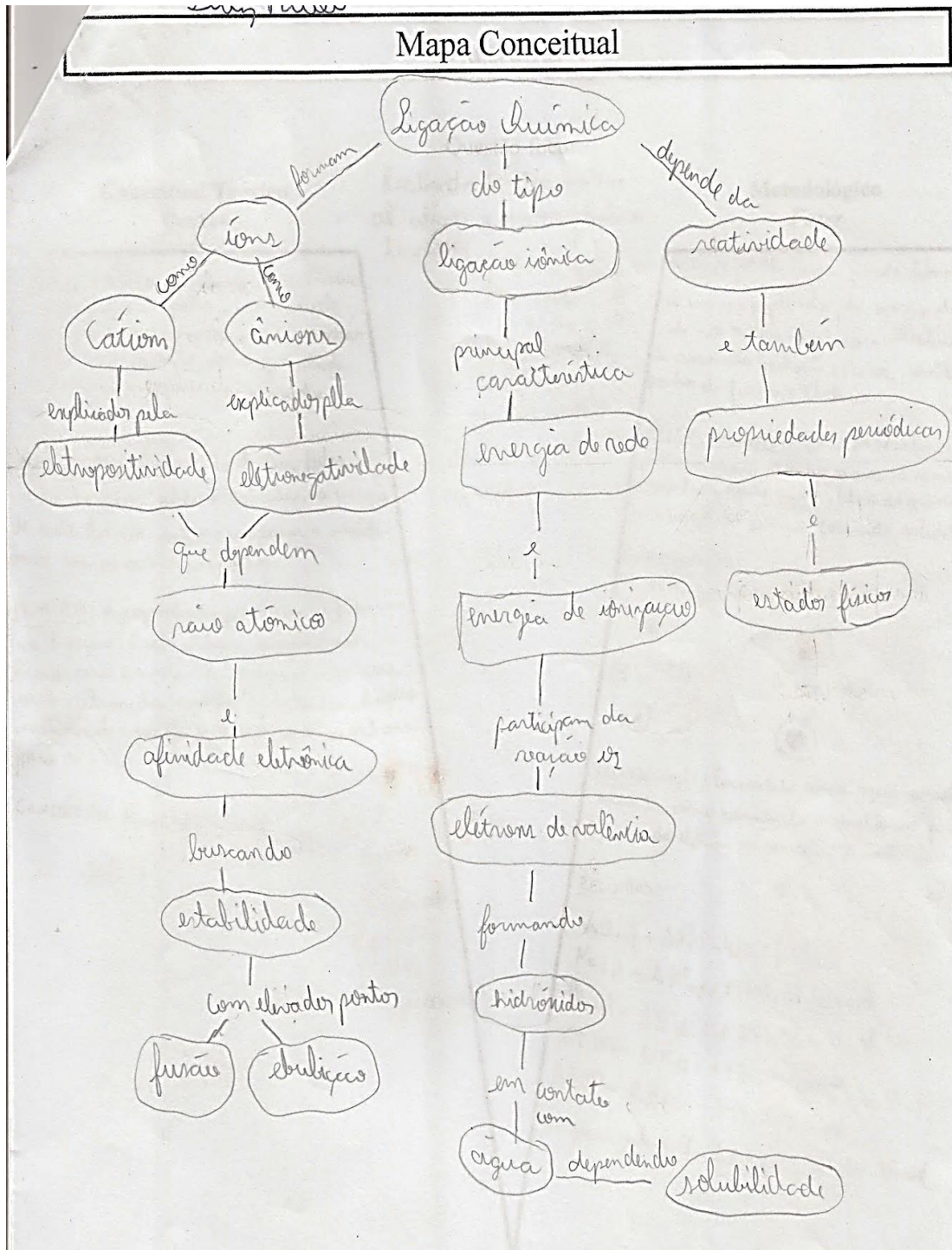
Figura 97- Mapa conceitual do aluno J, referente aos terceiro, quarto e quinto diagramas V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

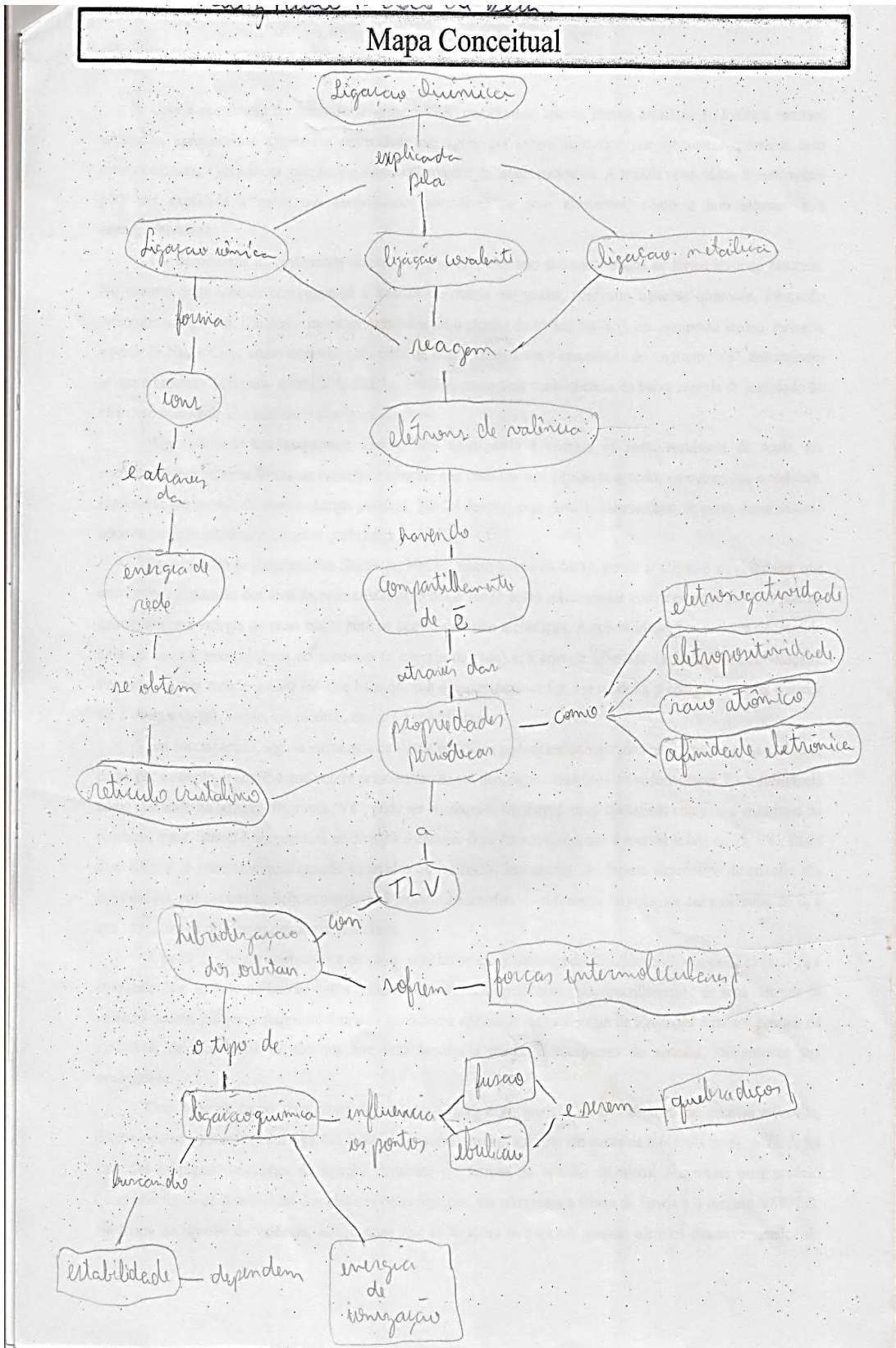
Outro erro conceitual referiu-se ao conceito de ligação química apresentado pelo aluno N. Tanto no mapa referente ao segundo “Vê” (FIGURA 98) quanto no último (FIGURA 99), o estudante destacou que as ligações químicas resultam na reação entre os elétrons de valência.

Figura 98- Mapa conceitual do aluno N, referente ao segundo diagrama V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 99- Mapa conceitual do aluno N, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagramas V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa

A permanência dos erros conceituais observados nos mapas dos alunos J e N podem estar relacionadas aos seguintes fatores:

- a) aprendizagem mecânica dos conceitos, isto é, sem atribuição de significados;
- b) ausência, na estrutura cognitiva, dos subsunçores necessários à aprendizagem dos mesmos;
- c) a não consideração das concepções prévias no processo de ensino.

Durante a análise dos diagramas “Vês”, foram apresentados alguns trechos das aulas, a partir dos quais foi possível verificar que durante as mesmas não se observou o processo de negociação e o compartilhamento do significado dos conceitos ensinados. Desse modo, pode-se dizer que a aprendizagem consistiu na memorização de definições e de relações conceituais, nas quais o significado científico dos conceitos não foi adquirido, levando à incompreensão dos mesmos e à formação de concepções alternativas.

Outro ponto a ser considerado foi que os conhecimentos prévios não foram levantados antes do processo de ensino. Assim, o professor não pôde identificar se os estudantes apresentavam em suas estruturas cognitivas os subsunçores necessários à aprendizagem da nova informação. Segundo Ausubel e et al. (1980), o levantamento dessas informações é relevante, uma vez que o aluno deve possuir algum conhecimento que se relacione com aqueles a serem aprendidos. Como discutido no estudo inicial, a maioria dos estudantes, contudo, não apresentou em suas estruturas cognitivas os subsunçores de forma clara, elaborada e diferenciada.

Quanto à persistência das concepções alternativas, os autores destacam que as mesmas são resistentes à eliminação, devido à frequência com que são utilizadas e por ligar-se a preconceções de natureza inclusiva e fortemente estáveis. Tais ligações foram percebidas em alguns mapas conceituais, como nos exemplos citados para os alunos J e N. Assim, as concepções alternativas foram “ancorando” outros conhecimentos, tornando-se mais inclusivas e diferenciadas.

Para Novak (2002) as concepções alternativas podem ser entendidas como as LIPHS que os indivíduos possuem em sua estrutura cognitiva. A remediação das mesmas vai depender da predisposição do estudante em optar por uma aprendizagem significativa pelo menos em algum grau. Vale destacar que níveis mais elevados de aprendizagem significativa exigem dos alunos uma estrutura de conhecimento elaborada. Por isso, a remediação de LIPHS consistirá em um processo interativo em que o estudante constrói gradualmente tais estruturas, e gradualmente as modificam com o tempo. A reparação das LIPHS requer, portanto a ocorrência dos processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

A partir desses processos, podem-se estabelecer relações de subordinação e superordenação que aperfeiçoam e elaboram os significados dos conceitos ou proposições.

As LIPHS mais elaboradas e persistentes exigem um esforço maior para serem remediadas, e isso pode explicar a tendência dos estudantes mais jovens em conseguirem corrigi-las mais facilmente do que os mais velhos. Além do mais, pode-se dizer que as LIPHS são difíceis de serem remediadas com uma instrução tradicional, podendo persistir por toda a vida de uma pessoa (NOVAK, 2002). Isso explica a persistência das concepções alternativas observadas no primeiro mapa da sequência de “Vês” modificados, pois desde a identificação das mesmas nenhuma medida foi realizada pelo professor a fim de remediá-las, e a instrução permaneceu de forma convencional, ou seja, não se evidenciaram os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora e nem a negociação de significados entre o professor e os alunos.

A permanência de concepções alternativas foi identificada na maioria dos mapas. Perceberam-se, entretanto, que, embora novos conceitos tenham sido acrescentados, as relações propostas entre os conceitos já estabelecidos não foram muito diferentes daquelas observadas nos primeiros mapas. Isso revelou que o significado de tais conceitos não foi ampliado, pois segundo Novak (1998), a riqueza do significado de um conceito aumenta admiravelmente com o número de proposições válidas aprendidas, as quais se relacionam a esse conceito e a outros.

Outros exemplos de PROPOSIÇÕES inválidas envolvendo o conceito de ligação química foram as seguintes:

*Força intermolecular **que identifica se a** ligação é iônica. (Aluno S)*

*Força intermolecular **que identifica se a** ligação é covalente. (Aluno S)*

*Força intermolecular **que identifica se a** ligação é metálica. (Aluno S)*

*Elementos químicos **possuem** energia de rede. (Aluno S)*

*Ligações metálicas **formam** moléculas. (Aluno A)*

*Ligação metálica **apresenta** brilho. (Aluno L)*

*Ligação metálica **apresenta** dureza. (Aluno L)*

*Ligação metálica **apresenta** condutividade. (Aluno L)*

*Metálica **possui** o caráter dureza. (Aluno E)*

Nessas PROPOSIÇÕES, percebeu-se que os alunos apresentaram uma incompreensão referente às relações entre os conceitos de forças intermoleculares e o de ligação química, bem como a relação entre este último e as propriedades dos compostos. Isso pode estar

associado ao não entendimento das diferenças e das semelhanças entre os conceitos de forças intermoleculares e de ligações interatômicas.

As diferenças entre os conceitos citados no parágrafo anterior referem-se ao fato de que o primeiro diz respeito à interação entre moléculas e o segundo, à interação entre átomos ou íons. O primeiro explica-se pela polaridade das moléculas e o segundo, pelas tendências periódicas. A semelhança é que, por meio do entendimento de tais conceitos, podem-se explicar as propriedades das substâncias químicas.

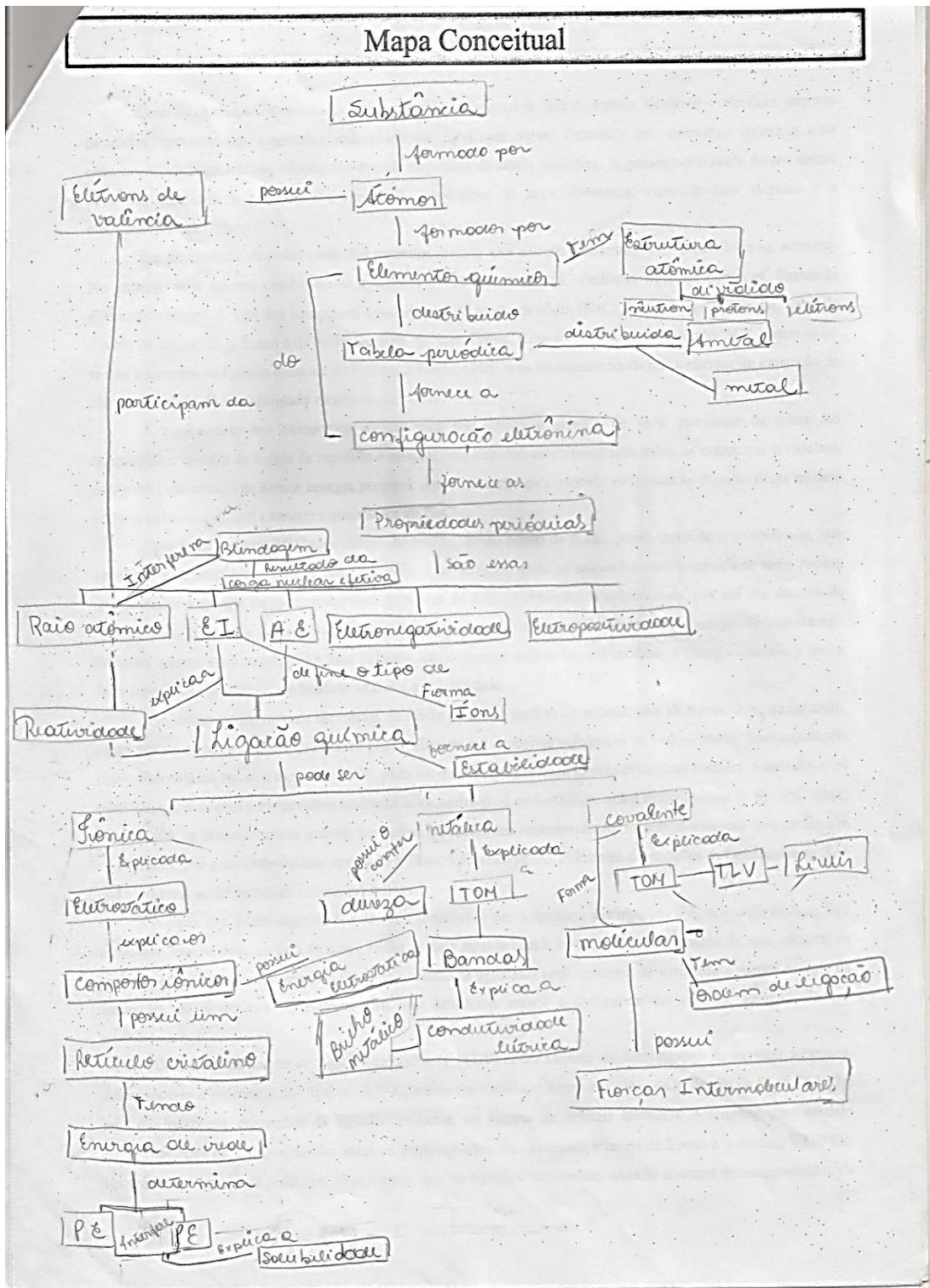
Como observado na maioria dos mapas conceituais, as relações estabelecidas entre os conceitos manteve uma característica classificatória, em detrimento da natureza do conhecimento químico avaliado. Esta se deu em termos dos tipos de propriedades periódicas, dos tipos de ligações químicas, da classificação dos tipos de ligações químicas segundo o caráter metal e ametal, da divisão da tabela periódica em famílias e períodos e da descrição da estrutura dos átomos em prótons, elétrons e nêutrons. Tais relações são muito comuns nos livros didáticos, principalmente em capítulos introdutórios sobre o tema em questão.

Ainda que as relações tenham apresentado característica classificatória, foi possível identificar o processo de diferenciação progressiva e a organização hierárquica proposta para os alunos. Quanto a esta última, predominou a seguinte organização:

a) conceitos mais gerais: aqueles relacionados à estrutura da matéria e das propriedades periódicas;

b) conceitos mais específicos: aqueles relacionados às ligações químicas e às propriedades das substâncias moleculares, iônicas e metálicas. Um exemplo desta estrutura hierárquica é apresentado no mapa do aluno E, Figura 100.

Figura 100- Mapa conceitual do aluno E, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagrama V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Uma forma comum de organização hierárquica esteve presente em alguns mapas. Nesses casos, adotaram-se como:

- a) conceitos mais gerais: aqueles relacionados às ligações químicas;
- b) conceitos intermediários: aqueles relacionados à estrutura da matéria e propriedades periódicas;
- c) conceitos mais específicos: aqueles referentes às propriedades dos compostos.

O mapa conceitual do aluno N, Figura 98, é um exemplo no qual tal estruturação foi observada. Uma possível explicação para a estrutura hierárquica predominante pode estar na sequência com que os conteúdos da área da ciência Química foram abordados pelo professor e nos textos-base e também em decorrência da natureza do conhecimento avaliado. A partir destes, buscou-se abordar o conhecimento de forma sequencial e relacionada, partindo-se dos conceitos subsunçores, da estrutura da matéria e das propriedades periódicas, até aqueles mais específicos, referentes às propriedades dos compostos químicos.

A organização hierárquica presente nos mapas conceituais e as relações entre os aspectos teóricos e metodológicos apresentadas nos “Vês” não foram, entretanto, suficientes para revelar de maneira significativa os processos de diferenciação progressiva e de reconciliação integradora, pois a estrutura dos mapas foi preferencialmente vertical, com pouca ou nenhuma relação horizontal ou diagonal, além de levarem à formação de frases. Quanto aos “Vês”, percebeu-se que a incompreensão dos CONCEITOS, das TEORIAS e dos MODELOS contribuiu para a elaboração de JUÍZOS COGNITIVOS com erros conceituais.

Os alunos A, B, E, N e R, em seus mapas conceituais, propuseram relações entre o conceito de ligação química e as TEORIAS ou MODELOS que a explicam. Algumas incoerências foram, contudo, observadas nas PROPOSIÇÕES dos estudantes N e R. O aluno R relacionou o conceito de ligação covalente com a TLV, mas, ao se referir ao modelo da hibridização de orbitais atômicos, relatou que estes sofrem forças intermoleculares. Isso reforça a conclusão obtida com a análise dos “Vês” de que o mesmo não compreendeu o conceito de orbital atômico e a superposição de orbitais.

O aluno R propôs uma reconciliação integradora entre a TOM e a TLV, em termos do conceito de hibridização. Este se refere, no entanto, apenas à segunda teoria. Isso também reforçou a conclusão obtida com a análise dos “Vês” de que o estudante não compreendeu as diferenças e as semelhanças existentes entre as duas teorias. Uma explicação para isso está no fato de que tal aluno não apresentou em sua estrutura cognitiva o modelo quântico para o átomo de forma clara, estável e diferenciada.

A incompreensão entre as duas teorias também foi observada no mapa conceitual do aluno B, a partir da seguinte proposição: “*TOM originam ligações σ e π* ”. Esses tipos de ligação estão, todavia, associados com a TLV, embora os símbolos σ e π sejam utilizados para

nomear os orbitais moleculares. A explicação para tal confusão também está relacionada ao não entendimento das teorias e à ausência do modelo quântomecânico para o átomo de forma clara, estável e diferenciada, na estrutura cognitiva.

Quanto aos mapas dos alunos A e E, Figuras 101 e 100, respectivamente, as relações entre as teorias e os tipos de ligação não apresentaram incoerências quando comparadas com a literatura, como pode ser observado nos exemplos a seguir.

Ligações covalentes explicadas Lewis. (Aluno A)

Ligações covalentes explicadas por TOM. (Aluno A)

Ligações covalentes explicadas por TLV. (Aluno A)

Covalente explicada TOM. (Aluno E)

Covalente explicada TLV. (Aluno A)

Covalente explicada Lewis. (Aluno A)

Metálica explicada por TOM. (Aluno A)

Iônica explicada Eletrostático. (Aluno A)

As PROPOSIÇÕES referentes ao mapa do aluno A revelou que o mesmo reconhece que certas teorias podem explicar determinados objetos e acontecimentos. A compreensão das mesmas, entretanto, não ficou clara na estrutura cognitiva do mesmo, conforme comentado na análise dos diagramas V.

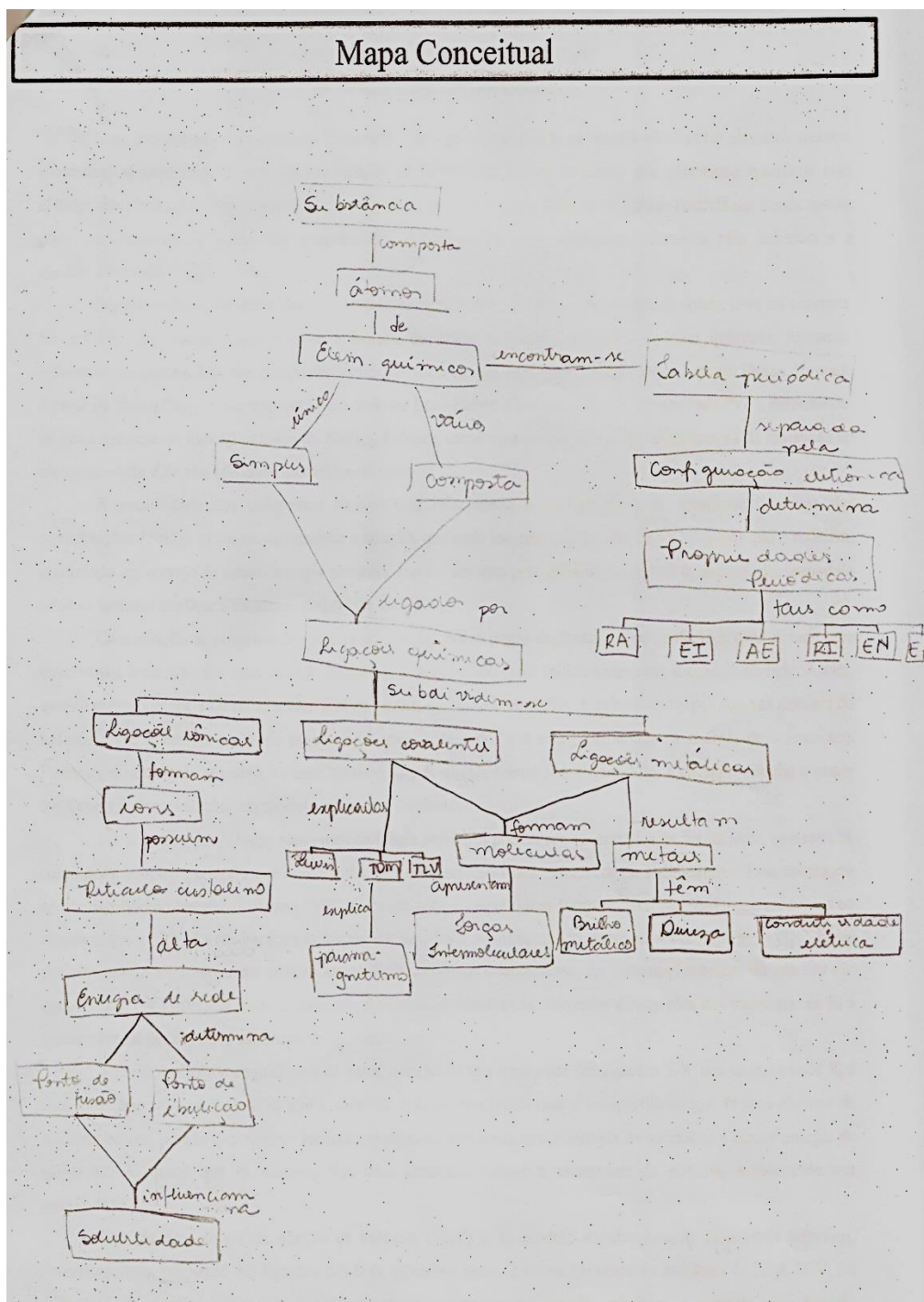
Embora alguns erros conceituais tenham sido observados no mapa do aluno E, este buscou estabelecer relações entre a nova informação (ligação química) e os subsunçores (estrutura da matéria e propriedades periódicas). Isso ficou evidente ao relatar que os elétrons de valência participam da ligação química e que as propriedades periódicas, tais como energia de ionização e afinidade eletrônica, definem os tipos de ligação química. Vale ressaltar que essas relações não foram identificadas no primeiro mapa conceitual.

Com relação à reconciliação integradora, as relações propostas pelos alunos foram pouco significativas, ou com erros conceituais, revelando pouco sobre suas aprendizagens. Dentre as que apresentaram erros conceituais, destacam-se aquelas em que se buscaram relacionar:

- a) as ligações covalentes e metálicas com a formação de molécula (aluno A);
- b) o ponto de fusão e ebulição com interferentes na solubilidade (aluno A e E).

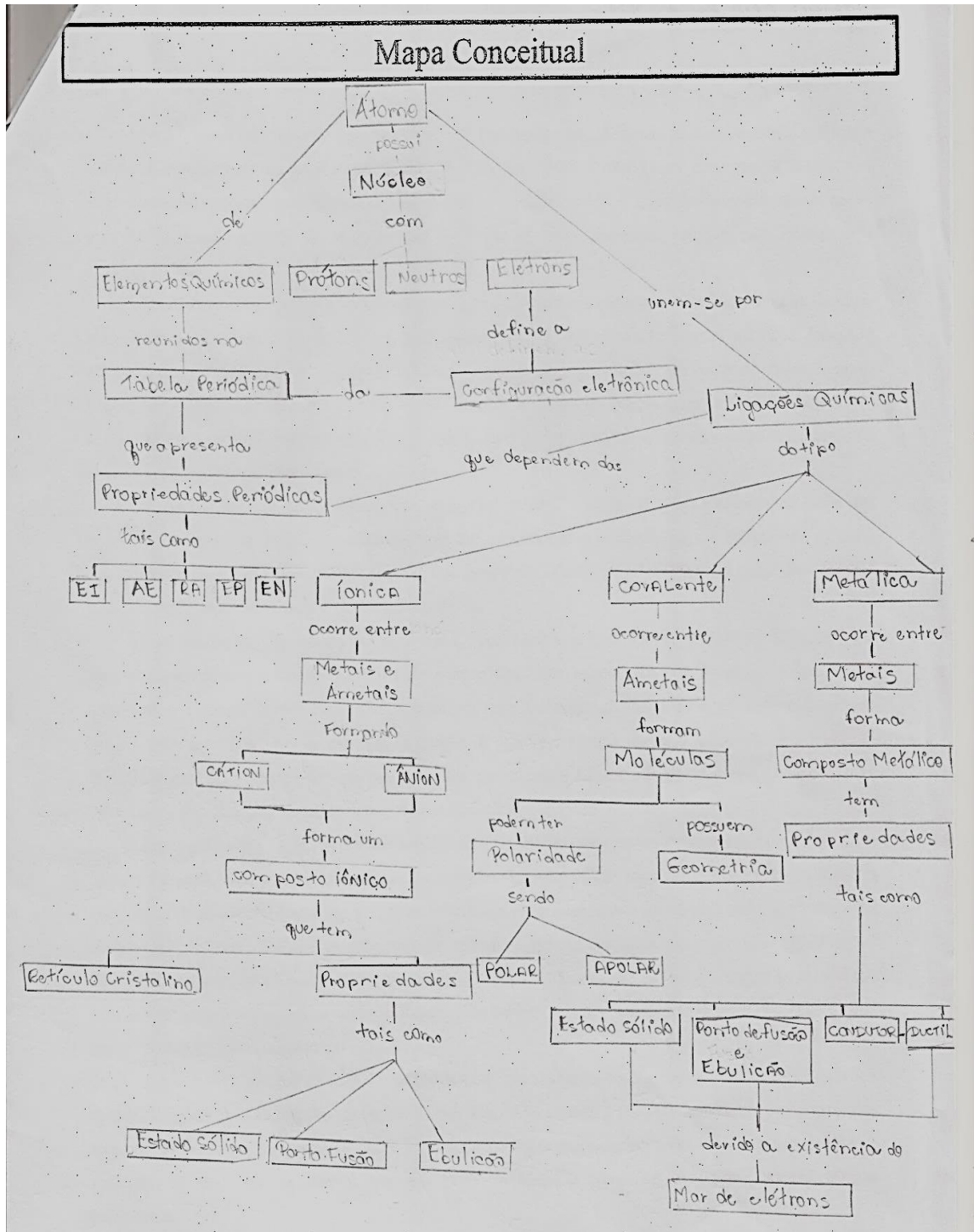
A relação entre as ligações químicas e as propriedades periódicas apresentada pelo aluno D, Figura 102, foi pouco significativa, pois apenas destacou que há uma dependência entre a ligação química e as propriedades periódicas, porém a natureza desta dependência e os tipos de propriedades periódicas associadas, não foram revelados.

Figura 101- Mapa conceitual do aluno A, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagrama V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Figura 102- Mapa conceitual do aluno D, referente ao terceiro, ao quarto e ao quinto diagrama V.



Fonte: dos sujeitos de pesquisa.

Relações significativas entre as ligações químicas e as propriedades periódicas foram observadas apenas nos mapas dos alunos A e E. Isso levou à conclusão de que a maioria dos estudantes não compreendeu a relação entre a nova informação e os subsunçores. Desse modo, pode-se dizer que as atividades de elaboração do diagrama V modificado contribuíram

para avaliar a aprendizagem conceitual dos estudantes e o processo como estes constroem o conhecimento, mediante as relações entre as TEORIAS e MODELOS para a explicação dos OBJETOS/ACONTECIMENTOS estudados. Além do mais, tais atividades permitiram que os alunos fizessem uma avaliação sobre suas próprias aprendizagens.

5 IMPLICAÇÕES DO USO DE DIAGRAMA V MODIFICADO COMO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO SEGUNDO A PERSPECTIVA DOS SUJEITOS DE PESQUISA

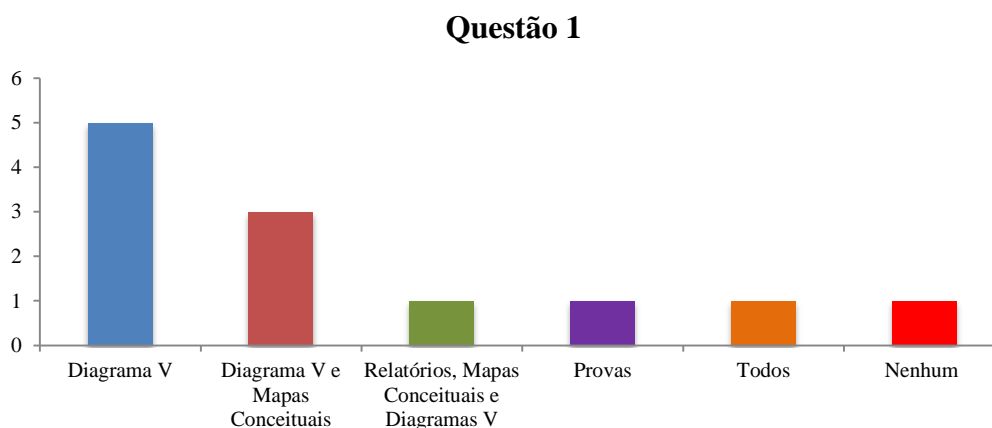
O ponto de vista dos alunos sobre o uso dos instrumentos avaliativos propostos neste estudo foi levantado a partir de um questionário contendo três questões abertas (APÊNDICE G). Com estas questões, buscou-se obter informações sobre:

- a) a relevância que os alunos atribuíram aos instrumentos para a avaliação da aprendizagem;
- b) como eles concebem o processo de aprendizagem;
- c) qual a contribuição dos instrumentos para tais percepções.

O questionário foi aplicado ao final do estudo e respondido por 12 alunos, sendo que um deles não o entregou ao final da atividade.

A primeira questão proposta foi: “Durante as disciplinas de Química Geral e Química Inorgânica I, a avaliação da aprendizagem ocorreu a partir do uso dos seguintes instrumentos avaliativos: provas, relatórios, mapas conceituais e diagramas V. Dentre esses instrumentos, qual(ais) vocês consideram o mais eficiente para avaliar a aprendizagem? Justifique.”. Ao responder a essa pergunta, esperava-se que os alunos apresentassem as características de cada instrumento e, a partir desta, justificassem a eficiência do mesmo para a avaliação da aprendizagem. A maioria dos alunos relatou que o diagrama V foi o instrumento mais eficiente, como pode ser observado no gráfico da Figura 103.

Figura 103- Caracterização dos instrumentos avaliativos, pelos sujeitos de pesquisa, segundo a relevância para a avaliação da aprendizagem.



Fonte: do autor.

Algumas das justificativas apresentadas pelos alunos para afirmar que o “Vê” foi o instrumento mais eficiente, foram as seguintes:

“O diagrama V é mais eficiente para relacionar o conteúdo teórico que é aprendido na sala de aula com o conteúdo prático realizado no laboratório. Fica mais fácil perceber que os conteúdos se interligam e como não dá para aprendê-los separadamente”.

“O diagrama V, pois colocamos o que aprendemos e sabemos em um problema real”.

“Os diagramas V, pois possibilita que possa haver reflexões sobre a questão-foco, e não apenas decorar o conteúdo aprendido”.

“O diagrama V, proporciona um conhecimento de relações, enquanto a provas o aluno decora a matéria”.

“O diagrama, pois a partir dele colocamos os pontos de vista nosso juntamente com a matéria do devido dado estudado”.

A partir dessas respostas, conclui-se que os estudantes atribuíram aos diagramas V a capacidade de poder relacionar a teoria com a prática, expor seus conhecimentos da forma como eles foram aprendidos mediante reflexões e o estabelecimento de relações entre os conteúdos da área da ciência Química. Além do mais, os “Vês” permitiram aos mesmos atribuir um valor ao conhecimento construído.

Tais afirmações ilustram o que Novak e Gowin (1984) denominam de valor educativo. Este, segundo os autores, é alcançado quando os alunos buscam integrar o pensamento, os sentimentos e as ações. Desse modo, o valor é determinado por aquilo que os estudantes fazem nas aulas, e não pela mera repetição exata do conteúdo abordado em uma lição ou teste. Ao elaborar o “Vê”, os aprendizes reconhecem a nova informação, por meio da aplicação daquilo que eles já conhecem, tratando-se de um processo criativo, idiossincrático e o conhecimento é expresso a partir das diversas formas de pensar e de agir.

A segunda escolha mais comum dentre os alunos foram os mapas conceituais e diagrama V. As justificativas foram:

“Todos os instrumentos avaliativos são importantes para a aprendizagem, porém o mapa conceitual o diagrama Vê possibilitaram relacionar os conceitos como os outros e estabelecer uma ordem hierárquica”.

“Eu considero o mais eficiente o diagrama V e, os mapas pois o conhecimento é construído através de discussões”.

A partir das afirmações dos alunos, percebeu-se que é importante considerar, no processo avaliativo, as relações que os alunos estabelecem entre os conceitos ensinados e como estes estão organizados na estrutura cognitiva dos mesmos. Além do mais, os

estudantes ressaltaram que os mapas conceituais e os diagramas V consistem em instrumentos que permitem a construção do conhecimento a partir de discussões. A partir destas, os significados dos conceitos podem ser negociados. Tal característica é atribuída por Novak (1998) aos mapas conceituais.

Quanto às justificativas para as escolhas dos demais instrumentos: relatórios; mapas conceituais e diagramas V; provas; todos e nenhum, foram apresentadas, respectivamente, as seguintes explicações:

“O mais eficiente para avaliar a aprendizagem são os relatórios, mapas e diagramas, pois com eles o conhecimento é formado em parte e há uma sequência”.

“Provas, pois com ela dá pra saber o quanto aprendeu no semestre”.

“Todos foram importantes para a avaliação do conhecimento”.

Vale destacar que o objetivo deste estudo não foi propor o uso do diagrama V modificado como um instrumento para substituir as provas ou relatórios, mas ampliar as possibilidades de se avaliar o conhecimento construído pelos alunos. De acordo com Novak (1998), a avaliação da aprendizagem cognitiva é determinada pela capacidade que os instrumentos têm de expressar os quadros conceituais e proposicionais que os alunos possuem e, ao mesmo tempo, identificar até que ponto o conhecimento que foi aprendido resultou de um processo não arbitrário e substantivo, ou seja, até que ponto a aprendizagem foi significativa.

Nesse sentido, as informações de aprendizagem não podem ser obtidas por meio de testes que avaliem a recordação, pois estas não permitem perceber se o estudante estabeleceu ou modificou os quadros conceituais. Os mapas conceituais e os diagramas V, conforme vem sendo discutido ao longo das análises dos referidos instrumentos, fornecem tais informações, consistindo em instrumentos valiosos para a avaliação da aprendizagem cognitiva.

A segunda questão proposta foi a seguinte: “Para você, quais foram as vantagens e desvantagens relacionadas ao uso dos mapas conceituais e diagramas V, como instrumentos avaliativos?”. Com essa questão, buscou-se levar os alunos a avaliarem os instrumentos por eles elaborados.

Dentre as vantagens atribuídas aos instrumentos, destacaram-se as seguintes: é uma forma diferente de aprender; permite relacionar melhor o conhecimento; exige raciocínio; permite identificar a construção do conhecimento como um todo; permite organizar o conhecimento; permite relacionar os conceitos e os conteúdos; desenvolvem melhor os conceitos; verifica o que sabemos; melhora a aprendizagem; exige a aplicação do que aprendemos e leva a pensar no por que as coisas acontecem.

Quanto às desvantagens, as seguintes explicações foram propostas: a não compreensão de um conhecimento implica a incompreensão do outro; é cansativo e chato; é difícil pensar nas partes e depois relacionar; o tempo para elaborar foi pequeno e os primeiros são mais difíceis de fazer devido às dificuldades na elaboração. Tais dificuldades estão relacionadas principalmente ao treinamento das técnicas (carga extrínseca) e ao fato de exigirem uma atividade cognitiva mais sofisticada do que aquela utilizada nas provas tradicionais. No conjunto, as desvantagens explicam as vantagens mencionadas nos parágrafos anteriores,

Com tais assertivas, observou-se que os estudantes apresentaram mais vantagens do que desvantagens. As primeiras estiveram mais relacionadas aos aspectos cognitivos e os segundos, ao processo de construção. Segundo os estudantes, os mapas e os “Vês” são instrumentos que exigem um esforço cognitivo, como relacionar, organizar e expressar o conhecimento. Talvez esse processo tenha sido o principal responsável pela classificação dos instrumentos como chatos e cansativos.

A última questão proposta foi a seguinte: “A elaboração dos mapas conceituais e dos diagramas V revelou alguma informação relevante sobre sua aprendizagem? Descreva uma situação.”. Por meio dessa questão, buscaram-se obter informações sobre a avaliação dos alunos para suas próprias aprendizagens.

Todos os estudantes destacaram que os instrumentos forneceram informações relevantes sobre suas aprendizagens. Dentre as respostas obtidas, destacaram-se as seguintes:

“A compreensão e fazer relações entre conceitos que antes eu não relacionava”.

“Para explicar um objeto temos que ir mais além, pois para explicá-lo necessitamos desde os conceitos mais simples como substância até o mais complexo como ligação química e as interações intermoleculares”.

“Ao elaborar esses instrumentos percebi que meus conhecimentos estavam muito misturados e que não sabia algumas teorias”.

“Percebi que ainda tenho muito que aprender, mas principalmente a organizar meus conceitos”.

“Me fez perceber que eu não tinha tanto domínio sobre os conceitos quanto eu achei que tinha. Além, de não conseguir conectar matérias por estudá-las como “coisas” separadas umas das outras”.

“Revelou que preciso relacionar melhor o conhecimento”.

“As dificuldades do ensino médio que se refletem no curso atual”.

Pôde-se concluir, com as respostas dos estudantes, que os mapas conceituais e os diagramas V são instrumentos avaliativos que informam aos professores e aos alunos sobre o

conhecimento construído durante o processo de ensino. Assim, é possível identificar quais os pontos frágeis desse processo e o que precisa ser melhorado a fim de que uma aprendizagem significativa seja alcançada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da aprendizagem, conforme as definições de Luckesi e os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa, tem como objetivo principal, estabelecer juízos de valor sobre o objeto avaliado. Para isso, deve-se priorizar a qualificação da aprendizagem, a partir da qual se podem obter informações sobre o processo que os indivíduos utilizam para construir o conhecimento e quais as modificações que a aquisição deste promove na estrutura cognitiva dos mesmos.

Nesse sentido, avaliar requer o uso de instrumentos que evidenciem o domínio do conhecimento e a compreensão conceitual que os indivíduos possuem de uma dada porção do saber. É relevante também conhecer a capacidade dos alunos de aplicar tais conhecimentos em novos contextos. Novak e Gowin (1984) destacam que os diagramas V e mapas conceituais consistem em instrumentos que ajudam os alunos a refletir sobre a estrutura do conhecimento e do processo como o mesmo é construído.

Segundo os autores, os mapas conceituais revelam os conceitos e as proposições que os alunos possuem em sua estrutura cognitiva e os diagramas V exprimem como um dado segmento do conhecimento é construído. Assim, pode-se dizer que tais instrumentos apresentam grande potencial para a avaliação da aprendizagem, conforme estabelecido pelos referencias teóricos citados.

Partindo-se dos dizeres de Novak e Gowin (1984) sobre a possibilidade de se utilizar os mapas conceituais em conjunto com os “Vês”, optou-se, neste estudo, por adotar o primeiro como um dos elementos do último, ou seja, os mapas representaram o elemento CONCEITO. Essa combinação foi relevante, uma vez que a maior parte dos significados dos conceitos é aprendida a partir da formação de proposições, nas quais os mesmos estão inseridos. O conhecimento não é revelado, contudo, apenas pelos quadros conceituais que os indivíduos possuem, mas também pela interação entre os demais aspectos teóricos e metodológicos. Tais condições foram satisfeitas com o uso do diagrama V.

Uma porção considerável do conhecimento deve incluir todos os elementos do “Vê” e mostrar como eles se relacionam, de forma coerente e significativa. Assim, se alguns desses elementos estiverem omissos ou mal elaborados, pode-se dizer que houve falhas na realização da atividade ou, ainda, que tais falhas possam estar associadas ao ensino e à aprendizagem dos conteúdos. A combinação do “Vê” com os mapas conceituais forneceu uma informação adicional, referente à compreensão dos conceitos. A partir das proposições apresentadas

nestes, pode-se validá-las segundo o contexto da matéria de ensino, permitindo, assim, identificar concepções alternativas e incompreensões quanto ao significado dos conceitos.

Algumas das falhas percebidas na elaboração dos “Vês” foram as seguintes: os conceitos-chave não foram considerados; os REGISTROS apresentados não foram condizentes com os OBJETOS/ACONTECIMENTOS; os JUÍZOS COGNITIVOS resultaram de generalizações ambíguas dos REGISTROS, dos PRINCÍPIOS ou a TEORIA e os PRINCÍPIOS não foram identificados. Tais informações, assim como aquelas obtidas com a análise das proposições apresentadas nos mapas, revelaram dados importantes sobre a aprendizagem dos alunos.

As análises dos instrumentos revelaram que o não entendimento dos significados dos conceitos químicos interferiu na compreensão de outros aspectos teóricos, como a TEORIA, o MODELO e os PRINCÍPIOS. A incompreensão destes prejudicou o processo de construção do conhecimento, pois JUÍZOS COGNITIVOS inadequados ou com erros conceituais foram observados na maioria dos diagramas V.

Além do mais, muitas das incompreensões citadas no parágrafo anterior, estiveram associadas ao processo de ensino, já que as concepções prévias dos alunos não foram consideradas e/ou não foram promovidas negociações de significados. Isso foi revelado não só pela permanência de grande parte das concepções alternativas após os sucessivos estágios de ensino, mas também pela discussão dos conteúdos da área da ciência Química realizada entre o professor e os alunos.

À medida que novos JUÍZOS COGNITIVOS e de VALOR são propostos para OBJETOS/ACONTECIMENTOS, novos significados são atribuídos ao conhecimento anterior. Esse processo pode ser evidenciado a partir da sequência de “Vês” modificados. Para a elaboração do primeiro “Vê” os alunos precisavam fazer uso da teoria atômica e das propriedades periódicas para explicarem a reatividade dos metais.

A partir do segundo “Vê” modificado, o significado desses conhecimentos precisou ser ampliado para que fosse possível interpretar novas indagações sobre OBJETOS/ACONTECIMENTOS. Assim, o conceito de orbital atômico foi diferenciado em orbital híbrido (3º “Vê”), orbital molecular (4º “Vê”) e bandas (5º “Vê”). Precisou-se também promover a reconciliação integradora entre as TLV (3º “Vê”) e a TOM (4º e 5º “Vês”).

O conceito de energia atrelado aos orbitais atômicos foi diferenciado em energia de ionização (2º “Vê”), energia de rede (2º “Vê”), afinidade eletrônica (2º “Vê”) e energia de ligação (4º “Vê”). Tais conceitos precisaram ser reconciliados para se obterem informações

sobre a estabilidade dos compostos químicos e a ocorrência das ligações químicas. Este conceito também foi diferenciado em ligação iônica (2º “Vê”), ligação covalente (3º e 4º “Vês”) e ligação metálica (5º “Vê”).

Os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora esperados com a elaboração da sequência dos “Vês” modificados podem evidenciar, como se dá o processo de construção do conhecimento, uma vez que tais processos resultam na atribuição de significados ao conhecimento aprendido. A partir destes podem-se propor explicações para as propriedades apresentadas pelos s OBJETOS/ACONTECIMENTOS investigados.

Em muitos “Vês” modificados não se observou o estabelecimento de relações entre os aspectos teórico-conceituais e metodológicos. Isso pode estar relacionado a dois fatores:

a) ausência dos CONCEITOS, TEORIAS, MODELOS e PRINCÍPIOS, na estrutura cognitiva dos estudantes, necessários à compreensão das propriedades exibidas pelos OBJETOS/ACONTECIMENTOS estudados;

b) problemas com o treinamento de elaboração de mapas conceituais e “Vês” modificados.

Vale ressaltar que por ser um instrumento heurístico, o “Vê” é eficaz em desempacotar os conhecimentos. Sua potencialidade, contudo, poderá ser revelada quando os alunos compreenderem os significados de seus elementos e que a articulação entre os mesmos pode revelar juízos cognitivos sobre determinados eventos. Para tal, os estudantes devem passar por um processo de treinamento, já que a elaboração do instrumento apresenta uma metodologia própria. A falta de treinamento, a incompreensão de determinados aspectos teórico-conceitual e os efeitos da carga extrínseca, podem levar à impressão de que os instrumentos não apresentam as qualidades relatadas na literatura.

Embora o problema com o treinamento tenha contribuído para a ocorrência de mapas conceituais com proposições sem clareza e mapas do tipo frases, “Vês” sem a questão-foco e com os elementos mal organizados, pode-se dizer que a incompreensão dos aspectos teórico-conceituais foi mais significativa nos últimos “Vês” da sequência. Isso foi observado pela melhora da estrutura dos mapas conceituais e pela presença da articulação entre os aspectos teórico-conceituais e os metodológicos apresentada no último “Vê” modificado da sequência.

Com base em tais pressupostos, pode-se dizer que o uso dos referidos instrumentos permitiu identificar a natureza da aprendizagem construída, isto é, se os novos conhecimentos foram construídos mediante relações com os conhecimentos anteriores, ou se a aprendizagem foi fragmentada, sem o estabelecimento de relações entre a nova informação e os subsunçores.

No primeiro caso, tem-se uma aprendizagem do tipo significativa e no segundo, a memorística.

Para tal avaliação, fez-se necessário levantar os subsunçores necessários à aprendizagem do conteúdo de ligações químicas, que foi o foco deste estudo. Esse levantamento revelou que a maioria dos alunos não possuíam em suas estruturas cognitivas os subsunçores estrutura da matéria e propriedades periódicas, de forma clara, estável e diferenciada. A maior parte dos modelos para os mesmos consistiu em concepções alternativas, conforme identificado no estudo inicial.

Com a elaboração dos diagramas V modificados, percebeu-se que, em alguns casos, a aprendizagem foi significativa, pois os alunos relacionaram de forma não arbitrária e literal a nova informação aos subsunçores. Tal aprendizagem se deu, contudo, de forma incorreta, já que os subsunçores que serviram de “âncora” para a nova informação encontraram-se fundamentados em concepções alternativas. Estas, por sua vez, podem ter sido resultado de uma aprendizagem mecânica, uma vez que muitos dos conceitos necessários ao entendimento das mesmas não estavam disponíveis na estrutura cognitiva dos estudantes.

Outra informação relevante obtida com a análise do diagrama V modificado foi referente à contribuição da atividade experimental para a aprendizagem dos alunos. Conforme discutido no estudo inicial, a realização de atividades experimentais sem a consideração dos conhecimentos prévios e sem o entendimento dos objetos e eventos a ser observados pouco contribuiu para a aprendizagem dos alunos. De acordo com Novak e Gowin (1984) o aluno deve compreender os CONCEITOS, os PRINCÍPIOS e as TEORIAS relevantes para que possam entender o que estão a observar e o que deve ser registrado, a fim de construir JUÍZOS COGNITIVOS.

A construção de JUÍZOS COGNITIVOS relativos ao conteúdo de ligações químicas revelou que a maioria dos estudantes não compreendeu os CONCEITOS, os PRINCÍPIOS, as TEORIAS e os MODELOS que explicam as ligações químicas (iônica, covalente e metálica), pois, embora tenham apresentado e descrito em seus “Vês” a TLV, a TOM, o modelo eletrostático, o modelo dos orbitais híbridos, o modelo dos orbitais moleculares e o modelo de bandas, as explicações para a formação das ligações químicas ainda foi fundamentada na regra do octeto. Essa concepção se manteve ao longo do processo de ensino e pode estar relacionada aos aspectos citados no início do parágrafo.

Além das falhas na aprendizagem, reveladas a partir da forma como os elementos do “Vê” foram elaborados e relacionados, o diagrama V modificado permitiu identificar as concepções alternativas. Estas consistem em proposições falsas, em ligações entre conceitos

em que falta uma palavra chave ou na ausência de um ou de vários conceitos. Uma vez que esses foram identificados, Novak e Gowin (1984) ressaltam que é possível corrigir as concepções alternativas, integrando determinados conceitos à estrutura conceitual do aluno. Assim, o instrumento proposto pode fornecer caminhos para a tomada de decisão, uma das etapas da avaliação da aprendizagem.

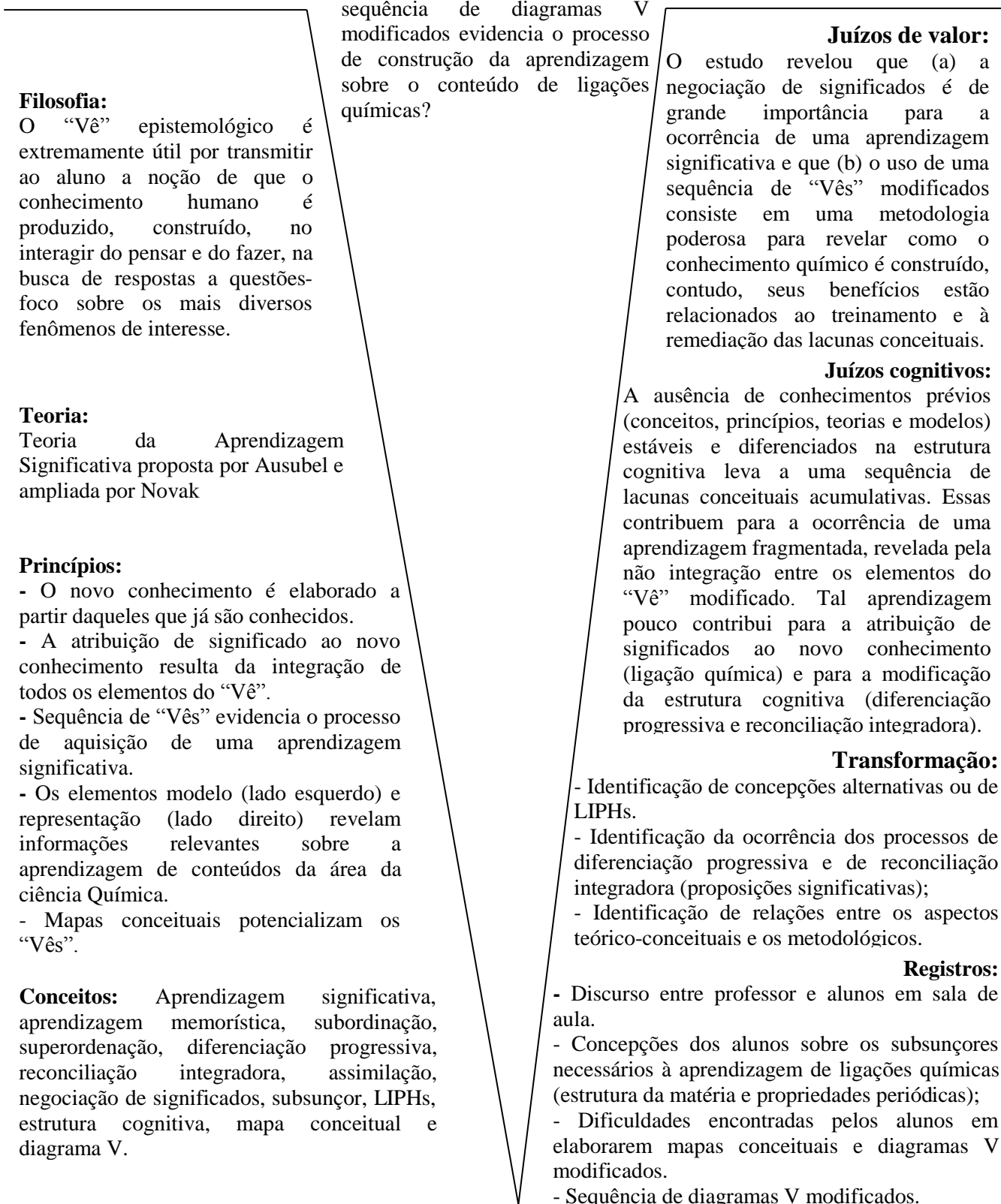
Quanto à qualificação dos diagramas V modificados, ou seja, à atribuição de notas aos critérios de análise, pode-se dizer que, assim como qualquer outro instrumento avaliativo, revelou certa subjetividade por parte de quem o avalia. Novak e Gowin (1984) asseguram, contudo, que existe uma grande equivalência entre as pontuações propostas por pessoas diferentes para um mesmo “Vê”. Além do mais, Belmonte (1997) destaca que as informações mais relevantes que se obtêm da análise de tais instrumentos são aquelas de natureza qualitativa. Assim, a pontuação não pode substituir uma análise pautada nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa.

Nesse sentido, o referido instrumento assegura a quantificação das aprendizagens ao final do processo de ensino, apresentando características de uma avaliação somativa. A ausência dessa quantificação, segundo Novak e Gowin (1984), poderia ser um entrave ao uso do instrumento para a avaliação da aprendizagem nas instituições de ensino, pois como ressaltado por Luckesi (2011), a avaliação também possui uma função social, isto é, a de comunicar à comunidade os resultados da aprendizagem, e esta pode se dar por meio de notas.

A natureza qualitativa de sua análise favorece, todavia, o desenvolvimento de uma avaliação formativa, pois os resultados obtidos indicam quais foram as dificuldades e os avanços dos alunos durante o processo de aprendizagem, permitindo ao professor identificar os pontos frágeis do ensino. A partir dessas informações, tomam-se decisões no sentido de adequar o ensino às necessidades dos estudantes, a fim de a aprendizagem ser consolidada.

O diagrama V da Figura 104 consiste em uma síntese deste estudo, cuja investigação buscou responder à seguinte questão-foco: “Em que medida a sequência de diagramas V modificados evidencia o processo de construção da aprendizagem sobre ligações químicas?”.

Figura 104: Diagrama V do estudo.



Objeto: sequência de diagramas V modificados

Acontecimento: processo de aprendizagem

Os alunos elaboraram uma sequência de cinco “Vês” modificados sendo que a questão-foco de cada um deles foi proposta com base nos questionamentos oriundos dos juízos cognitivos e de valor do “Vê” anterior. Os conteúdos da área da ciência Química avaliados foram: 1º Vê: reatividade dos metais alcalinos e alcalinos terrosos; 2º Vê: ligação iônica; 3º e 4º Vê: ligação covalente e 5º Vê: ligação metálica.

O uso do diagrama V modificado poderá ser potencializado se for inserido em um ambiente construtivista de ensino, no qual a função formativa seja realizada. Em tal ambiente, priorizam-se as concepções prévias dos alunos e o compartilhamento de significados dos conhecimentos a serem aprendidos, permitindo apontar caminhos para correção das concepções alternativas e contribuir para a construção de uma aprendizagem significativa. Além do mais, o compartilhamento de bons diagramas V modificados com a turma consistiria em uma maneira de remediar erros conceituais e favorecer os alunos que não conseguem chegar nesse nível de elaboração.

REFERÊNCIAS

AFAMASAGA-FUATA, K. Na undergraduate student's understanding of differential equations through concept maps and Vee diagrams. In: conferência internacional sobre mapas conceituais, 1., 2004. Pamplona, Spain. **Resumos...**Spain, 2004.

AGUIAR, J.G. **Desenvolvimento e validação de um questionário para avaliar o nível de conhecimento dos alunos sobre mapas conceituais.** 2012. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências)- Instituto de Química, Instituto de Física, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ALBISU, S.; SAN MARTÍN, I.; GONSÁLEZ, F. Aplicación de los mapas conceptuales (MMCC) y la V de Gowin em la elaboración de módulos instruccionales em alumnos de magisterio. In: conferência internacional sobre mapas conceituais, 2., 2006. San José, Costa Rica. **Resumos...**Costa Rica, 2006.

ANDRÉ, M. E. D. A. **Etnografia da prática escolar.** 15. ed. Campinas: Papyrus, 2008.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química:** questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3. ed. Porto Alegre: Booknam, 2006.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BALLESTER, M. **Avaliação como apoio à aprendizagem.** Porto Alegre: ARTMED, 1999.

BATISTELLA, C. A. R. **Atividade de ótica exploradas no ensino de médio através de reflexões epistemológicas com emprego do Vê de Gowin.** 2007. 86 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física)- Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BELMONTE, M. **Mapas conceptuales y UVES heurísticas de Gowin:** técnicas todas las áreas de las enseñanzas medias. Biblao: Ediciones Mensajero, 2007.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação.** Portugal: Porto Editora, 2000.

BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 2008.

CAPPELLETTO, E. **O Vê de Gowin conectando teoria e experimentação em física geral: questões didáticas, metodológicas e epistemológicas relevantes ao processo**. 2009. 297 p. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Física)- Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CHASSOT, A. Sobre prováveis modelos de átomos. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 3, p. 3, mai. 1996.

_____. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. 5. ed. Ijuí: Unijuí, 2011.

CHROBAK, R.; PRIETO, A. B. Enseñar creativamente: los mapas conceptuales y la Uve del conocimiento ¿ Pueden fomentar la creatividad? In: conferência internacional sobre mapas conceituais, 5., 2010. Viña Del Mar, Chile, **Resumos...Chile**, 2010.

CICUTO, C. A. T.; CORREIA, P. R. M. Estruturas hierárquicas inapropriadas ou limitadas em mapas conceituais: um ponto de partida para promover a aprendizagem significativa. **Aprendizagem Significativa em revista**, Rio Grande do Sul, n. 1, v.3, p. 1-11, 2013.

DAMASIO, F.; ALLAIN, O.; PACHECO, S. M. V. Uma adaptação do V de Gowin para a aprendizagem significativa em ambientes não-formais de ensino. In: encontro nacional sobre aprendizagem significativa, 3., 2010. São Paulo, São Paulo. **Resumos...São Paulo**, 2010.

DAMASIO, F.; RODRIGUES, A. A.; ALLAIN, O.; PACHECO, S. M. V. Mapas conceituais e diagramas V como ferramenta para promover a autoavaliação na formação de professores de física. In: encontro nacional sobre aprendizagem significativa, 4., 2011. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, **Resumos...Porto Alegre**, 2011.

DUARTE, H. A. Ligações químicas: ligação iônica, covalente e metálica. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n.4, p. 14-23, mai. 2001.

_____. Carga nuclear efetiva e sua consequência para a compreensão da estrutura eletrônica dos átomos. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 17, p. 22- 26, mai. 2003.

FERNADEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepções dos estudantes sobre ligação química. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 24, p. 20-24, nov. 2006.

FRANCO, M. L. P. B. **Análise de conteúdo**. Brasília: Plano Editora, 2008.

GONZALÉS GARCÍA, F. M. **El mapa conceptual y el diagrama UVE**: recursos para la enseñanza superior en el siglo XXI. Madrid: Narcea, S.A. de Ediciones, 2008.

GOWIN, D. B.; ALVAREZ, M. C. **The art of educating with V diagrams**. New York: Cambridge University Press, 2005.

HILGER, T. R.; OLIVEIRA, A. M. M.; MOREIRA, M. A. O uso do Vê de Gowin em contraposição ao relatório tradicional como facilitador da aprendizagem significativa em aulas de laboratório de física. In: encontro nacional sobre aprendizagem significativa, 3., 2010. São Paulo, São Paulo. **Resumos...**São Paulo, 2010.

HOFFMANN, J. **Avaliar para promover**: as setas do caminho. 14. ed. Porto Alegre: Mediação, 2011.

JUSTI, R. Modelos e modelagem no ensino de química: um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. **Ensino de química em foco**. Ijuí: Unijuí, 2011. Cap. 8, p. 209-230.

LEE, J. D. **Química Inorgânica Não tão concisa**. 5. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2006.

LEMO, E. S.; MOREIRA, M. A. A avaliação da aprendizagem significativa em biologia: um exemplo com a disciplina de embriologia. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Rio Grande do Sul, n. 1, v. 2, p.15-26, 2011.

LOPES, A. R. C. Reações químicas: fenômeno, transformação e representação. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 2, p. 7-9, nov. 1995.

_____. Potencial de redução e eletronegatividade: obstáculo verbal. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 4, p. 21-23, nov. 1996.

LUCKESI, C.C. **Avaliação da aprendizagem na escola**: reelaborando conceitos e recriando a prática. Salvador: Malabares Comunicação e Eventos, 2005.

_____. **Avaliação da aprendizagem escolar**: estudos e proposições. 22. Ed. São Paulo: Cortez, 2011.

MALDANER, O. A. **A formação inicial e continuada de professores de química**. 3. ed. rev. Ijuí: Unijuí, 2006.

MENDONÇA, M. F. C. **O processo de avaliação em ensino de química**: estudo de caso de um curso de Licenciatura. 2010. 20 p. Monografia (Iniciação Científica)- Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2010.

MOREIRA, M. A. **Pesquisa em ensino**: aspectos metodológicos e referenciais teóricos à luz do Vê epistemológico. São Paulo: EPU, 1990.

_____. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

_____. **Mapas conceituais e diagramas V**. Porto Alegre: Editora do autor, 2006.

_____. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2001.

MOREIRA, M.A; VEIT, E. A. **Ensino superior**: bases teóricas e metodológicas. São Paulo: E. P. U, 2010.

MORTIMER, E. F.; DUARTE, G. M. L. P. Regra do octeto e teoria da ligação química no ensino médio: dogma ou ciência?. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 2, n.17, p. 243-252, 1994.

MURILLO, J. C., et al. La uve de Gowin y lós mapas conceptuales pueden ser el zum de la teoria de la elaboración. In: conferência internacional sobre mapas conceituais, 1., 2004. Pamplona, Spain. **Resumos...Spain**, 2004.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1984.

NOVAK, J. D. **Aprender, criar e utilizar o conhecimento**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1998.

NOVAK, J. D. Meaningful learning: the essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. **Science Education**, v. 86, n. 4, p. 548-571, jun. 2002.

OLIVEIRA, A. M. M. **Análise da relação dos estudantes com as atividades experimentais de eletromagnetismo utilizando o Vê de Gowin em contraposição ao relatório tradicional**. 2011. 184 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física)- Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PACHECO, S. M. V.; DAMASIO, F. Mapas conceituais e diagramas V: ferramentas para o ensino, a aprendizagem e a avaliação no ensino técnico. **Ciências e Cognição**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 166-193, jul. 2009.

PEIXOTO, E. M. A. Enxofre. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 16, p. 51, nov. 2002.

PEÑA, A. O., et al. **Mapas conceituais: uma técnica para aprender**. São Paulo: Edições Loyola, 2005.

PERRENOUD, P. **Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens- entre duas lógicas**. Porto alegre: Artmed,1999.

PESSOA JR. O. A representação pictórica de entidades quântica da química. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 7, p. 25-33, dez. 2007.

PORLÁN R., M. J. El diario como instrumento para detectar problemas y hacer explícitas las concepciones. In: PORLÁN R., M. J. **El Diario del profesor: Un Recurso para la Investigación en el Aula**. Díada Editora, Sevilla, 1997, p. 21-69.

RAMÍREZ, M. M., et al. Mathematical modelling of physical phenomena with the use of Gowins's Vee and concept maps. In: conferência internacional sobre mapas conceituais, 3., 2008. Tallinn, Estonia e Helsink, Finland. **Resumos...Finland**, 2008.

ROCHA, T. L.; PARANHOS, R. D. Sequências de diagramas V de Gowin no planejamento e avaliação de atividades educativas em ciências e biologia. **Enciclopédia Biosfera- Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1664-1673, 2011.

RUIZ-MORENO, L., et al. Mapa conceitual: ensaiando critérios de análise. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 13, n. 3, p. 453-463, 2007.

SANABRIA, I.; RAMIREZ, M. M. S. Una estrategia de aprendizaje para integrar teoria y laboratorio de física i mediante lós mapas conceptuales y la V de Gowin. In: conferência internacional sobre mapas conceituais, 1., 2004. Pamplona, Spain. **Resumos...Spain, 2004.**

SARAIVA, M. Diagrama Vê: contributo para a aprendizagem significativa de física com base em trabalho experimental. In: encontro nacional sobre aprendizagem significativa, 3., 2010. São Paulo, São Paulo. **Resumos...São Paulo, 2010.**

SILVA, J. F.; HOFFMANN, J.; ESTEBAN, M. T. **Práticas avaliativas e aprendizagem significativa:** em diferentes áreas do currículo. 8. ed. Porto Alegre: Mediação, 2010.

TOIGO, A. M.; MOREIRA, M. A. Diferenças na construção de diagramas V em grupos e individualmente por alunos de graduação das faculdades de educação física e de fisioterapia na disciplina de biomecânica. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Rio Grande do Sul, n. 1, v. 2, p.90-98, 2012.

TOIGO, A. M.; MOREIRA, M. A.; COSTA, S. S. C. Estudio comparativo sobre la construcción de mapas conceptuales em pequeños grupos e individualmente por alunos de grado de las facultades de educación física y fisioterapia em la disciplina de biomecânica. In: conferência internacional sobre mapas conceituais, 5., 2010. Viña Del Mar, Chile. **Resumos...Spain, 2010.**

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS (UNIFAL-MG). **Plano de desenvolvimentos institucional (PDI):** curso de Química-Licenciatura. Alfenas: 2007-2010.

_____. **Plano de desenvolvimentos institucional (PDI):** curso de Química-Licenciatura. Alfenas: 2007-2010.

_____. **Projeto Político Pedagógico:** curso de Química-Licenciatura. Alfenas: 2008.

VIANNA, H. M. **Pesquisa em educação: a observação.** v. 5, Brasília: Plano Editora, 2003.

VIEIRA, J. E.; MICHELS, L. B.; DAMÁSIO, F. O diagrama V como organizador das aulas no ensino técnico. In: encontro nacional sobre aprendizagem significativa, 4., 2012. Garanhuns, Pernambuco. **Resumos...Pernambuco, 2012.**

VIVEIROS, E. R.; ZULIANI, S. R. Q. A. **Mapas conceituais e V epistemológico de Gowin na análise da aprendizagem significativa:** uma aplicação numa licenciatura em química. In: encontro nacional sobre aprendizagem significativa, 3., 2010. São Paulo, São Paulo. **Resumos...**São Paulo, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A- Questionário de caracterização dos sujeitos de pesquisa

Questionário de caracterização dos sujeitos de pesquisa

1. Qual o seu sexo?

- (A) Feminino.
(B) Masculino.

2. Qual a sua idade?

- (A) Menos de 17 anos.
(B) 17 anos.
(C) 18 anos.
(D) Entre 19 e 25 anos (inclusive).
(E) Entre 26 e 33 anos (inclusive).
(F) Entre 34 e 41 anos (inclusive).
(G) Entre 42 e 49 anos (inclusive).
(H) 50 anos ou mais

3. Você trabalha ou tem alguma atividade remunerada durante os estudos? (Bolsa de financiamento institucional)

- (A) Sim, todo o tempo.
(B) Sim, menos de 1 semestre.
(C) Não.

4. Quantas horas você trabalha durante seus estudos?

- (A) Sem jornada fixa, até 10 horas semanais.
(B) De 11 a 20 horas semanais.
(C) De 21 a 30 horas semanais.
(D) De 31 a 40 horas semanais.
(E) Mais de 40 horas semanais.

5. Com que finalidade você trabalha enquanto estuda? (Marque apenas uma.)

- (A) Para ajudar meus pais nas despesas com a casa, sustentar a família.
(B) Para meu sustento e o de minha família (esposo/a, filhos/as etc.).
(C) Para ser independente (ter meu sustento, ganhar meu próprio dinheiro).
(D) Para adquirir experiência.
(E) Para ajudar minha comunidade.
(F) Outra finalidade.
(G) Nunca trabalhei enquanto estudava.

6. Se você está trabalhando atualmente, qual a sua renda ou seu salário mensal?

- (A) Até 1 salário mínimo (até R\$ 678,00 inclusive).
(B) De 1 a 2 salários mínimos (de R\$ 278,00 até R\$ 1.356,00 inclusive).
(C) De 2 a 5 salários mínimos (de R\$ 1.356,00 até R\$ 3.390,00 inclusive).
(D) De 5 a 10 salários mínimos (de R\$ 3.390,00 até R\$ 6.780,00 inclusive).
(E) De 10 a 30 salários mínimos (de R\$ 6.780,00 até R\$ 20.340,00 inclusive).

7. Você está trabalhando em alguma atividade para a qual você se preparou ou está preparando?

- (A) Sim.
(B) Não.

8. Em que você trabalha atualmente?

- (A) Na agricultura, no campo, na fazenda ou na pesca.

- (B) Na indústria.

- (C) Na construção civil.

- (D) No comércio, banco, transporte, hotelaria ou outros serviços.

- (E) Como funcionário(a) do governo federal, estadual ou municipal.

- (F) Como profissional liberal, professora ou técnica de nível superior.

- (G) Trabalho fora de casa em atividades informais (pintor, eletricitista, encanador, feirante, ambulante, guardador/a de carros, catador/a de lixo).

- (H) Trabalho em minha casa em serviços (costura, aulas particulares, cozinha, artesanato, carpintaria etc).

- (I) Faço trabalho doméstico em casa de outras pessoas (cozinheiro/a, mordomo/governanta, jardineiro, babá, lavadeira, faxineiro/a, acompanhante de idosos/as etc.).

- (J) No lar (sem remuneração).

- (K) Outro.

- (L) Não trabalho.

- (M) Não sei.

9. Há quanto tempo você trabalha?

- (A) Menos de 1 ano.
(B) Entre 1 e 2 anos.
(C) Entre 2 e 4 anos.
(D) Mais de 4 anos.

10. Você considera que seus conhecimentos adquiridos no ensino médio:

	Sim	Não
Foram adequados ao que o mercado de trabalho solicita?	(A)	(B)
Tiveram relação com a profissão que escolheu/ que você exerce?	(A)	(B)
Foram bem desenvolvidos, com aulas práticas, laboratórios etc.?	(A)	(B)
Proporcionaram cultura e conhecimento	(A)	(B)

11. Como você avalia estar estudando e trabalhando, simultaneamente, durante o ensino superior?

- (A) Atrapalha meus estudos.
(B) Possibilita meu crescimento pessoal.
(C) Atrapalha meus estudos, mas possibilita meu crescimento pessoal.
(D) Não atrapalha meus estudos.
(E) Não trabalho.

12. Quantos anos você levou para concluir o ensino fundamental?

- (A) Menos de 8 anos.
(B) 8 anos.
(C) 9 anos. (F) Mais de 11 anos.
(D) 10 anos. (G) Não cursei.
(E) 11 anos.

13. Em que tipo de escola você cursou o ensino fundamental?

- (A) Somente em escola pública.
 (B) Parte em escola pública e parte em escola particular.
 (C) Somente em escola particular.
 (D) Somente em escola indígena ou em escola situada em comunidade quilombola.
 (E) Parte na escola indígena e parte em escola não-indígena.
 (F) Parte em escola situada em comunidade quilombola e parte em escola fora de área quilombola.
 (G) Não frequentei a escola.

14. Em que ano você concluiu o ensino médio?

- (A) Concluí-lo após 2009.
 (B) Em 2008.
 (C) Em 2007.
 (D) Em 2006.
 (E) Em 2005.
 (F) Em 2004.
 (G) Entre 2003 e 2002.
 (H) Antes de 2002.
 (I) Não cursei o ensino médio.

15. Quantos anos você levou para cursar o ensino médio?

- (A) Menos de 3 anos.
 (B) 3 anos.
 (C) 4 anos.
 (D) 5 anos.
 (E) 6 anos.
 (F) Mais de 6 anos.

16. Em que tipo de escola você cursou o ensino médio?

- (A) Somente em escola pública.
 (B) Maior parte em escola pública.
 (C) Somente em escola particular.
 (D) Maior parte em escola particular.
 (E) Somente em escola indígena.
 (F) Maior parte em escola não-indígena.
 (G) Somente em escola situada em comunidade quilombola.
 (H) Maior parte em escola não situada em comunidade quilombola.

17. Em que modalidade de ensino você concluiu o ensino médio?

- (A) Ensino regular.
 (B) Educação para jovens e adultos (antigo supletivo).
 (C) Ensino técnico / ensino profissional.

18. Assinale, no quadro abaixo, a(s) atividade(s) ou o(s) curso(s) que você realiza ou realizou.

	Sim	Não
Curso de língua estrangeira	(A)	(B)
Curso de computação ou informática	(A)	(B)
Curso preparatório para o vestibular	(A)	(B)
Outros	(A)	(B)

19. Faça uma avaliação da escola em que você realizou o Ensino Médio.

	Insuficiente a Regular	Regular a Bom	Bom a Excelente
O conhecimento que os(as) professores(as) têm das matérias e a maneira de transmiti-lo.	(A)	(B)	(C)
A dedicação dos(as) professores(as) para preparar aulas e atender aos(às) estudantes.	(A)	(B)	(C)
As iniciativas da escola para realizar excursões, passeios culturais, estudos do meio ambiente.	(A)	(B)	(C)
A biblioteca da escola.	(A)	(B)	(C)
O interesse dos(as) estudantes.	(A)	(B)	(C)
As condições dos laboratórios.	(A)	(B)	(C)
Acesso a computadores e outros recursos de informática.	(A)	(B)	(C)

20) Pensando nos conhecimentos adquiridos no Ensino Médio, como você considera o seu preparo para conseguir um emprego, exercer alguma atividade profissional?

- (A) Eu me considero preparado(a) para entrar no mercado de trabalho.
 (B) Apesar de ter frequentado uma boa escola, eu me considero despreparado(a), pois não aprendi o suficiente para conseguir um bom emprego.
 (C) Eu me considero despreparado(a) devido à baixa qualidade do ensino de minha escola, que não me preparou o suficiente.
 (D) Não sei.

21) Pensando na disciplina de Química do Ensino Médio, descreva a melhor aula.

21) Pensando na disciplina de Química do Ensino Médio, descreva a pior aula.

22) Como você considera que aprendeu os conteúdos da área da ciência Química?

APÊNDICE B- Texto-base para a elaboração do segundo “Vê”**Contexto para a elaboração do “Vê”: Natureza das ligações químicas**

A construção do “Diagrama V” referente à reatividade dos metais revelou, a partir dos juízos cognitivos e de valor que os metais alcalinos (Na e K) e alcalinos terrosos (Mg e Ca) estudados, apresentaram expressiva reatividade em água, com formação de hidróxidos e gás hidrogênio. E, como consequência de sua reatividade, os metais não são encontrados na forma livre na natureza, de modo que seus átomos estão ligados a átomos de outros elementos químicos, formando diferentes compostos, como por exemplo, os sal de sódio $\text{NaCl}_{(s)}$, formado a partir de $\text{Na}_{(s)}$ e $\text{Cl}_{2(g)}$.

Na natureza os átomos se unem, e, em função da eletronegatividade que eles apresentam podem atrair os elétrons mais ou menos para si. Esta capacidade de atrair mais ou menos para si os elétrons está correlacionada com o seu potencial de ionização e com a afinidade eletrônica. De acordo com a definição de Mulliken, a eletronegatividade é dada por $c = 1/2 (\text{PI} + \text{AE})$.

De acordo com os princípios propostos, no lado esquerdo do “Vê”, a reatividade dos metais, está relacionada com a perda de elétrons. Do ponto de vista cinético (velocidade da reação), a reatividade aumenta como o aumento do raio atômico, pois quanto maior o raio atômico maior a facilidade do átomo perder os elétrons de valência, reagindo mais rápido.

Além do raio atômico, a reatividade também pode ser explicada em termos da eletropositividade, que é uma propriedade periódica relacionada à perda de elétrons pelos átomos com a possibilidade de formar cátions. Desse modo, pode-se dizer que, quanto maior o raio atômico, maior será a sua eletropositividade, uma vez que os elétrons de valência estão menos atraídos pelo núcleo, aumentando a possibilidade de perder elétrons.

Apesar da energia de ionização ser uma propriedade periódica relacionada com a perda de elétrons e definida como a energia requerida para retirar um elétron do átomo no estado gasoso, formando um íon, não há uma relação linear com a reatividade, a ponto de afirmarmos que, quanto menor a energia de ionização maior será a reatividade. Um exemplo disso é o cálcio que, apesar de apresentar a 1ª energia de ionização, maior do que a do sódio, 589,7 KJ/mol e 496 KJ/mol, respectivamente, é o mais reativo dentre os dois, formando íons $\text{Ca}^{2+}_{(aq)}$. Isso se deve ao fato de que, apesar do cálcio apresentar dois elétrons de valência no subnível 4s, ele tem uma camada a mais do que o sódio, sendo assim, um átomo maior e conseqüentemente mais reativo. Nesse caso, o fator energético é compensado pela formação do composto $\text{Ca}(\text{OH})_{2(aq)}$.

Porém, a energia de ionização (EI) e a afinidade eletrônica (AE), são propriedades periódicas que podem auxiliar na explicação da natureza das ligações químicas que os elementos formam. A natureza dessas ligações depende de como acontece o rearranjo dos elétrons no composto formado e possibilita explicar as propriedades macroscópicas observadas para estes compostos, tais como ponto de fusão, ponto de ebulição e solubilidade.

Considerando-se que a ligação química resulta da interação entre dois ou mais átomos, qual é a natureza da ligação química responsável pela formação do cloreto de sódio ($\text{NaCl}_{(s)}$)? Qual é o fator responsável pela sua estabilidade? Por que o $\text{NaCl}_{(s)}$ é um sólido quebradiço, solúvel em água e com altos pontos de fusão e ebulição?

Assumindo-se que a formação do sólido ocorre em várias etapas, sua energia de rede pode ser calculada a partir do ciclo de Born-Haber, que consiste em uma aplicação da Lei de Hess, considerando as seguintes energias envolvidas:

Entalpia de formação do $\text{NaCl}_{(s)}$ $\rightarrow \Delta H_f^\circ = -410,0 \text{ kJ/mol}$

Entalpia de vaporização do sódio ($\text{Na}_{(s)}$) $\rightarrow \Delta H_{\text{vap}}^\circ = +107,32 \text{ kJ/mol}$

Entalpia de dissociação do cloro ($\text{Cl}_{2(g)}$) $\rightarrow \Delta H_{\text{dis}}^\circ = +243,36 \text{ kJ/mol}$

Energia de ionização do sódio (Na) $\rightarrow \Delta H_{\text{EI}} = +496,0 \text{ kJ/mol}$

Afinidade eletrônica do cloro (Cl) $\rightarrow \Delta H_{\text{AE}} = -349,0 \text{ kJ/mol}$

Energia de rede do $\text{NaCl}_{(s)}$ $\rightarrow \Delta E_{\text{ret}} = -786,0 \text{ kJ/mol}$

APÊNDICE C- Texto-base para a elaboração do terceiro “Vê”

Contexto para a elaboração do “Vê”: Natureza das ligações químicas

Com a construção do diagrama V referente à reatividade dos metais alcalinos e alcalinos terrosos, observou-se a partir dos juízos de valor e juízos cognitivos que estes metais apresentaram expressiva reatividade em água, por se tratarem de elementos bastantes eletropositivos. A reatividade em água pode ser considerada um dos motivos responsáveis pela não ocorrência desses elementos na forma livre na natureza, ou seja, como uma substância simples. Desse modo, seus átomos encontram-se ligados a átomos de outros elementos, formando substâncias compostas. Um exemplo, é sólido cristalino, $\text{NaCl}_{(s)}$, formada a partir do $\text{Na}_{(s)}$ e $\text{Cl}_{2(g)}$.

O $\text{NaCl}_{(s)}$ é um substância estável, quebradiça, com elevados pontos de fusão e ebulição e solúvel em água. A elaboração do “Vê” referente à natureza da ligação química do $\text{NaCl}_{(s)}$, revelou por meio dos juízos de valor e cognitivos que, os átomos de sódio e cloro unem-se por ligações iônicas, formando um retículo cristalino. Esse tipo de ligação ocorre entre elementos com baixa energia de ionização, como o sódio (Na), e alta afinidade eletrônica, como o cálcio (Ca). Isso explica a formação de íons, uma vez que a ligação iônica ocorre quando a atração dos elétrons externos pelos núcleos dos átomos é muito diferente, assim os elétrons pouco atraídos, dos átomos com maior energia de ionização passam a sofrer atração somente pelo núcleo dos átomos que têm maior atração, e conseqüentemente maior afinidade eletrônica, sobre os elétrons da última camada, que ficam com carga negativa, conforme proposto pelo modelo eletrostático.

O modelo eletrostático, permite explicar a característica quebradiça do $\text{NaCl}_{(s)}$. Isso está associada ao fato de que uma pequena deslocação de camadas do cristal pode pôr em contato íons da mesma carga e a repulsão eletrostática resultante é suficiente para partir o cristal.

A estabilidade do sólido $\text{NaCl}_{(s)}$ se deve à energia de rede resultante da soma das contribuições devidas às forças de repulsão e atração que cada íon está sujeito com todos os outros que o rodeiam, conferindo um arranjo de menor energia possível. A energia de rede pode ser calculada, como expresso nas transformações, lado esquerdo do Vê, a partir do ciclo de Born-Haber. Este ciclo consiste na aplicação da Lei de Hess e envolve as reações que contribuem para a formação de um mol de um cristal iônico, a partir dos íons nos estados gasosos. Assim, podemos analisar a energética da formação de um composto iônico a partir dos elementos constituintes (a sua entalpia de formação), considerando a energética dos

passos em que se pode dividir a reação de formação. A partir dos registros dessas energias, os dados foram transformados, e expressos na forma do ciclo de Born- Haber.

As reações envolvidas na formação do $\text{NaCl}_{(s)}$, e sua energia de rede são:

Entalpia de formação do $\text{NaCl}_{(s)} \rightarrow \Delta H_f^\circ = -410,0 \text{ kJ/mol}$

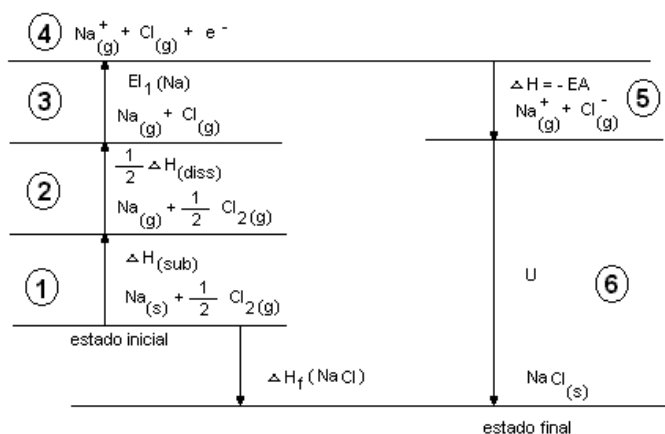
Entalpia de vaporização do sódio ($\text{Na}_{(s)} \rightarrow \text{Na}_{(g)} \rightarrow \Delta H_{\text{vap}}^\circ = +107,32 \text{ kJ/mol}$

Entalpia de dissociação do cloro ($\text{Cl}_{2(g)} \rightarrow 2\text{Cl}_{(g)} \rightarrow \Delta H_{\text{dis}}^\circ = +243,36 \text{ kJ/mol}$

Energia de ionização do sódio ($\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + e^- \rightarrow \Delta H_{\text{EI}} = +496,0 \text{ kJ/mol}$

Afinidade eletrônica do cloro ($\text{Cl} + e^- \rightarrow \text{Cl}^- \rightarrow \Delta H_{\text{AE}} = -349,0 \text{ kJ/mol}$

Energia de rede do $\text{NaCl}_{(s)} \rightarrow \Delta E_{\text{ret}} = -786,0 \text{ kJ/mol}$



Os compostos iônicos apresentam propriedades físicas que envolvem a separação dos íons da rede cristalina, nomeadamente a temperatura de fusão e ebulição e, a solubilidade, e por isso dependem da energia reticular. Assim, com base nos princípios, lado direito do Vê, sabe-se que, quanto maior a energia de rede, maior será os pontos de fusão e ebulição e menor será a solubilidade. A maior ou menor solubilidade de um sal decorre então do balanço entre a energia gasta no processo (a energia reticular) e a energia libertada (a energia de solvatação). Quanto mais negativo for esse balanço, isto é, quanto menor for, em módulo, a energia reticular e maior for a energia de solvatação, em módulo, maior é a solubilidade.

Diferentemente do elemento sódio (Na) que é um metal, o elemento enxofre (S) é um não-metal e pode ser encontrado na forma livre na natureza, ou seja, como uma substância simples. As duas formas cristalinas comuns são o enxofre- α ou rômboico, que é estável à temperatura ambiente e o enxofre- β ou monoclinico, que é estável acima de $95,5^\circ\text{C}$. Essas duas formas se interconvertem quando aquecidos ou resfriados lentamente. As formas alotrópicas do enxofre são constituídas por estruturas cíclicas contendo 8 átomos de enxofre.

Vale destacar que, a forma das moléculas afeta as propriedades dos materiais que nos rodeiam, incluindo seus estados físicos e suas solubilidades. As diferentes disposições das moléculas de S_8 é que produzem as diferentes estruturas cristalinas.

Tomando como base as discussões anteriores, qual é a natureza das ligações S-S-S nos anéis S_8 do enxofre e qual é a forma do anel? O enxofre é um sólido quebradiço, com baixos pontos de fusão e ebulição e insolúvel em água. Quais os fatores responsáveis por essas propriedades? Como essas propriedades podem explicar o fenômeno observado ao aquecer o enxofre fundido e posteriormente submetê-lo a um resfriamento em água?

APÊNDICE D- Texto-base para a elaboração do quarto “Vê”

Contexto para a elaboração do “Vê”: Natureza das ligações químicas

Com a construção do primeiro Diagrama “Vê” percebeu-se que os metais alcalinos e alcalinos terrosos estudados, apresentaram expressiva reatividade em água, por serem formados por elementos químicos com eletropositividade grande em relação aos demais elementos da tabela periódica. A grande reatividade desses metais pôde ser explicada a partir das propriedades periódicas de seus elementos, como o raio atômico e a eletropositividade.

Em decorrência da reatividade dos referidos metais, eles não são encontrados de forma livre na natureza. No entanto, seus átomos combinam-se a átomos de outros elementos, mediante ligações químicas, formando diferentes compostos. Um dos compostos estudados foi o cloreto de sódio ($\text{NaCl}_{(s)}$), um composto iônico, formado a partir de $\text{Na}_{(s)}$ e $\text{Cl}_{2(g)}$, como expresso pelo ciclo de Born-Haber. Com a construção do segundo “Vê”, determinou-se que a natureza da ligação química do $\text{NaCl}_{(s)}$, é iônica, como uma consequência da baixa energia de ionização do elemento sódio e da alta afinidade eletrônica do cloro.

A estabilidade dos compostos iônicos está relacionada à energia de rede, resultante da soma das contribuições devidas às forças de repulsão e atração que cada íon está sujeito com todos os outros que o rodeiam, conferindo um arranjo de menor energia possível, que foi descrito pelo modelo eletrostático. A partir desse modelo, pôde-se também explicar a natureza quebradiça do $\text{NaCl}_{(s)}$.

Com relação às propriedades físicas do $\text{NaCl}_{(s)}$, como ponto de fusão, ponto ebulição e solubilidade, percebeu-se que há uma relação entre elas e a separação dos íons da rede cristalina, e como consequência disto, estão relacionadas, também, com a energia de rede. Assim, quanto maior a energia de rede, maior será os pontos de fusão e ebulição. A solubilidade, por sua vez, decorre do balanço entre a energia gasta no processo (a energia de rede) e a energia libertada (a energia de solvatação). Portanto, quanto mais negativo for esse balanço, isto é, quanto menor for, em módulo, a energia reticular e maior for a energia de solvatação, em módulo, maior será a solubilidade.

Em contrapartida, alguns elementos da tabela periódica podem ser encontrados na forma livre, na natureza, como por exemplo, o enxofre que ocorre principalmente em depósitos vulcânicos ou sedimentares. Esta substância como discutido no terceiro diagrama “Vê”, pode ser encontrada em duas formas cristalinas comuns, o enxofre- α ou rômboico, que é estável à temperatura ambiente e o enxofre- β ou monoclinico, que é estável acima de 95, 5°C. Estas duas formas se interconvertem quando aquecidos ou resfriados lentamente. As formas

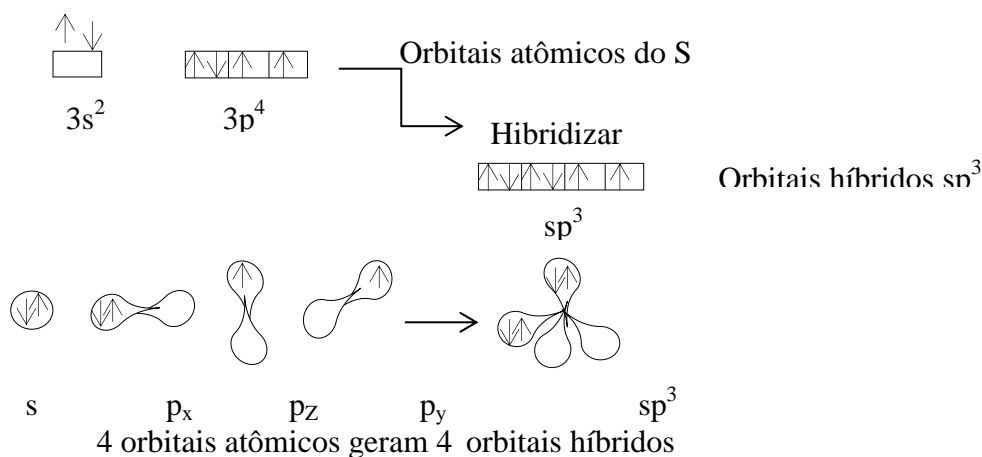
alotrópicas do enxofre são constituídas por estruturas cíclicas contendo 8 átomos de enxofre. As diferentes disposições das moléculas de S_8 é que produzem as diferentes estruturas cristalinas.

A partir dos juízos cognitivos e de valor, conclui-se que a natureza das ligações S-S-S, nos anéis cíclicos S_8 é covalente. Isso se deve ao fato de que, a união de dois átomos iguais com o compartilhamento de seus elétrons de valência ocorre porque o composto formado geralmente apresenta maior energia de ionização e menor energia de ionização, de modo que os elétrons têm uma tendência menor a escaparem do sistema, aumentando sua estabilidade.

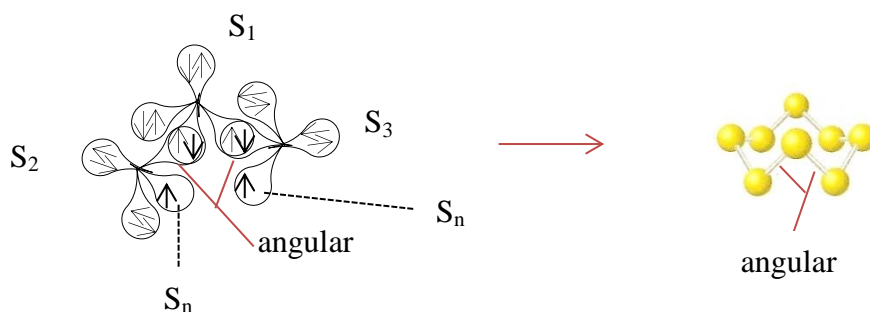
Com base na teoria da ligação de valência (TLV) e no modelo da hibridização de orbitais atômicos, determinou-se a geometria das ligações S-S-S do enxofre e assim, a forma em coroa da molécula de S_8 . A TLV foi uma das primeiras descrições da ligação covalente em termos de orbitais atômicos, e consiste num modelo quantomecânico da distribuição dos elétrons pelas ligações, ela ultrapassa a teoria de Lewis e o modelo VSEPER. Na teoria de ligação de valência, imaginamos que as ligações formam-se quando elétrons desemparelhados de orbitais atômicos da camada de valência formam pares. Os orbitais atômicos que eles ocupam se superpõem cabeça-cabeça para formar ligações σ , ou lateralmente para formar ligações π .

Com relação à representação da molécula de S_8 , com base no modelo da hibridização de orbitais atômicos teríamos:

Representação dos orbitais atômicos da camada de valência do enxofre e os orbitais híbridos, em caixinhas.



Com base no modelo da hibridização dos orbitais, pôde-se supor que a geometria das ligações S-S-S do enxofre serão angulares, uma vez que dois de seus orbitais híbridos estão duplamente ocupados, logo apenas dois orbitais sp^3 estão disponíveis para interagir com os outros átomos de enxofre. Cada átomo de enxofre do ciclo S_8 liga-se a outros dois. Assim, a forma de coroa do anel pode ser explicada como segue.



Os ângulos das ligações S-S-S não serão exatamente àqueles esperados para os ângulos do tetraedro, pois os dois pares de elétrons não-ligantes ocupam um espaço maior do que se estivessem sendo compartilhados por dois átomos. Este fato leva a uma repulsão maior entre os pares não-ligantes e os pares compartilhados na ligação S-S-S, forçando a diminuição do ângulo de ligação.

Vale destacar que, os orbitais não têm necessariamente significado físico e qualquer rotação destes orbitais no espaço consiste em solução da equação de Schrödinger. Em outras palavras, isto significa que dois orbitais quaisquer podem sempre ser superpostos para formar dois outros orbitais. A estes dois novos orbitais chamaram de orbitais híbridos.

O enxofre por ser um composto covalente, não terá suas propriedades físicas (ponto de fusão, ponto de ebulição e solubilidade) relacionados à separação de íons, como discutido para o $NaCl_{(s)}$, um composto iônico. Mas, tais propriedades dos compostos moleculares, devem-se não só a ligação covalente entre os átomos, mas também ao tipo de interação entre suas moléculas. Quando no estado sólido, geralmente possuem pontos de fusão e ebulição mais baixos se comparados com os das substâncias iônicas ou metálicas.

De acordo com os juízos cognitivos percebeu-se que quanto mais forte for a interação entre as moléculas que constituem a substância, maiores serão os pontos de fusão e ebulição, pois será necessária maior quantidade de energia para separá-las. Moléculas mais polarizadas interagem mais fortemente do que moléculas de baixa polaridade ou apolares. Como as moléculas de enxofre, S_8 , são apolares elas interagem mediante as forças de London (ou dipolo instantâneo), que são forças de natureza fraca. Isso explica os baixos pontos de fusão e ebulição do enxofre e por serem apolares apresentam baixa solubilidade em água.

A partir dos registros e das transformações, observou-se que o aquecimento do enxofre sólido até uma determinada temperatura, que não foi determinada, obteve-se um líquido amarelo. Ao manter o aquecimento para além dessa temperatura, ocorreu uma mudança na coloração do líquido que passou de amarelo para marrom escuro e de aparência viscosa. A mudança de estado do enxofre sólido ao enxofre líquido ocorreu quando a temperatura do sistema atingiu a temperatura de fusão do enxofre que é de aproximadamente 115°C.

À temperaturas acima do ponto de fusão até por volta de 160°C, o enxofre fundido ainda é formado por moléculas de enxofre S₈, como no enxofre sólido. Porém acima dessa temperatura, ligações S-S, são quebradas e tem-se a formação de cadeias, o que explica a viscosidade do líquido. Ao se resfriar o enxofre fundido, obtém-se um sólido de coloração marrom avermelhada, é de aparência mole e elástica. Essa substância é que consiste na forma monoclinica ou enxofre-β, estável em temperaturas entre 96°C e 119°C. No entanto, à temperatura ambiente (~25 °C), a forma monoclinica transforma-se lentamente na ortorrômbica ou enxofre-α.

A explicação das ligações covalentes na molécula de enxofre S₈ se deu com base na TLV. Essa teoria gera naturalmente a estrutura de Lewis para as moléculas devido ao fato de se basear no compartilhamento de elétrons. Porém, apresenta algumas deficiências como, por exemplo, não considerar o caráter iônico das ligações covalentes. Esta é explicada como resultante da superposição de dois orbitais atômicos, cada qual com um elétron desemparelhado, superenfazando o caráter covalente da ligação química. Além do mais, a TLV não explica a existência de moléculas que apresentam elétrons desemparelhados em seu estado fundamental, como, por exemplo, a molécula de O₂.

Com base no que foi exposto no parágrafo anterior, e considerando-se que a substância oxigênio (O_{2(g)}) é paramagnética, como podemos explicar as ligações químicas das moléculas lineares de O₂? O que explica sua elevada energia de ligação? Por que o comprimento da ligação O-O no íon O₂⁻ é menor do que aquela na molécula de O₂?

Os comprimentos de ligação do íon O₂⁻ e da molécula de O₂ estão na tabela abaixo.

Espécie Química	Comprimento de ligação (comp./pm)
O ₂ (molécula)	120,7
O ₂ ⁻ (íon)	126

APÊNDICE E- Texto-base para a elaboração do quinto “Vê”

Contexto para a elaboração do “Vê”: Natureza das ligações químicas

Com a construção do primeiro Diagrama “Vê” percebeu-se que os metais alcalinos e alcalinos terrosos estudados, apresentaram expressiva reatividade em água, por serem formados por elementos químicos com eletropositividade grande em relação aos demais elementos da tabela periódica. A grande reatividade desses metais pôde ser explicada a partir das propriedades periódicas de seus elementos, como o raio atômico e a eletropositividade.

Em decorrência da reatividade dos referidos metais, eles não são encontrados de forma livre na natureza. No entanto, seus átomos combinam-se a átomos de outros elementos, mediante ligações químicas, formando diferentes compostos. Um dos compostos estudados foi o cloreto de sódio ($\text{NaCl}_{(s)}$), um composto iônico, formado a partir de $\text{Na}_{(s)}$ e $\text{Cl}_{2(g)}$, como expresso pelo ciclo de Born-Haber. Com a construção do segundo “Vê”, determinou-se que a natureza da ligação química do $\text{NaCl}_{(s)}$, é iônica, como uma consequência da baixa energia de ionização do elemento sódio e da alta afinidade eletrônica do cloro.

A estabilidade dos compostos iônicos está relacionada à energia de rede, resultante da soma das contribuições devidas às forças de repulsão e atração, que cada íon está sujeito com todos os outros que o rodeiam, conferindo um arranjo de menor energia possível, que foi descrito pelo modelo eletrostático. A partir desse modelo pôde-se também explicar a natureza quebradiça do $\text{NaCl}_{(s)}$.

Com relação às propriedades físicas do $\text{NaCl}_{(s)}$, como ponto de fusão, ponto ebulição e solubilidade, percebeu-se que há uma relação entre elas e a separação dos íons da rede cristalina, e como consequência disto, estão relacionadas, também, com a energia de rede. Assim, quanto maior a energia de rede, maior será os pontos de fusão e ebulição. A solubilidade, por sua vez decorre do balanço entre a energia gasta no processo (a energia de rede) e a energia libertada (a energia de solvatação). Portanto, quanto mais negativo for esse balanço, isto é, quanto menor for, em módulo, a energia reticular e maior for a energia de solvatação, em módulo, maior é a solubilidade.

Em contrapartida, alguns elementos da tabela periódica podem ser encontrados na forma livre, na natureza, como por exemplo, o enxofre que ocorre principalmente em depósitos vulcânicos ou sedimentares. Essa substância como discutido no terceiro diagrama “Vê”, pode ser encontrada em duas formas cristalinas comuns, o enxofre- α ou rômboico, que é estável à temperatura ambiente e o enxofre- β ou monoclinico, que é estável acima de 95, 5°C. Essas duas formas se interconvertem quando aquecidos ou resfriados lentamente. As formas

alotrópicas do enxofre são constituídas, por estruturas cíclicas contendo 8 átomos de enxofre. As diferentes disposições das moléculas de S_8 é que produzem as diferentes estruturas cristalinas.

A partir dos juízos cognitivos e de valor, conclui-se que a natureza das ligações S-S, nos anéis cíclicos S_8 é covalente. Isso se deve ao fato de que a união de dois átomos iguais com o compartilhamento de seus elétrons de valência ocorre porque o composto formado geralmente apresenta maior afinidade eletrônica e menor energia de ionização, de modo que os elétrons têm uma tendência menor a escaparem do sistema, aumentando sua estabilidade.

Com base na teoria da ligação de valência (TLV) e no modelo da hibridização de orbitais atômicos, determinou-se a geometria das ligações S-S-S do enxofre e assim, a forma em coroa da molécula de S_8 . A TLV foi uma das primeiras descrições da ligação covalente em termos de orbitais atômicos, e consiste em um modelo quantomecânico da distribuição dos elétrons pelas ligações, ela ultrapassa a teoria de Lewis e o modelo VSEPER. Na teoria de ligação de valência, imaginamos que as ligações se formam quando elétrons desemparelhados de orbitais atômicos da camada de valência formam pares. Os orbitais atômicos que eles ocupam se superpõem cabeça-cabeça para formar ligações σ ou lateralmente para formar ligações π .

Com base no modelo da hibridização dos orbitais, pôde-se supor que a geometria das ligações S-S-S do enxofre serão angulares, uma vez que dois de seus orbitais híbridos estão duplamente ocupados, logo apenas dois orbitais sp^3 estão disponíveis para interagir com os outros átomos de enxofre. Cada átomo de enxofre do ciclo S_8 , ligação a outros dois.

Diferentemente do caso do composto iônico $NaCl_{(s)}$, cujas propriedades físicas, como ponto de fusão, ponto de ebulição e solubilidade, estão relacionadas à separação de íons de uma rede cristalina, no composto covalente $S_{8(s)}$, tais propriedades dependem não só da ligação covalente entre os átomos, mas também do tipo de interação entre as moléculas.

De acordo com os juízos cognitivos percebeu-se que quanto mais fortes forem as interações entre as moléculas que constituem as substâncias, maiores serão os pontos de fusão e ebulição, pois será necessária maior quantidade de energia para separá-las. Moléculas mais polarizadas interagem mais fortemente do que moléculas de baixa polaridade ou apolares. Como as moléculas de enxofre, S_8 , são apolares elas interagem mediante as forças de London (ou dipolo instantâneo), que são forças de natureza fraca. Isso explica os baixos pontos de fusão e ebulição do enxofre e por serem apolares apresentam baixa solubilidade em água.

Outro composto covalente estudado foi o oxigênio ($O_{2(g)}$), a partir da construção do quarto diagrama V. Este composto diferentemente do enxofre $S_{8(g)}$ é encontrado na natureza

na forma gasosa, composto por moléculas diatômicas lineares. Outra característica que difere a substância oxigênio da substância enxofre é a natureza paramagnética do mesmo. Tal característica não pode ser explicada pela teoria de Lewis ou pela TLV, pois a primeira não destacava a importância dos pares de elétrons nas ligações químicas. Já segunda, apesar de levar em consideração os pares de elétrons em termos do pareamento de spins permitindo inclusive o cálculo da distribuição dos elétrons em moléculas, não consegue explicar as propriedades de algumas moléculas, como por exemplo, o paramagnetismo do oxigênio, que consiste em uma propriedade de elétrons desemparelhados.

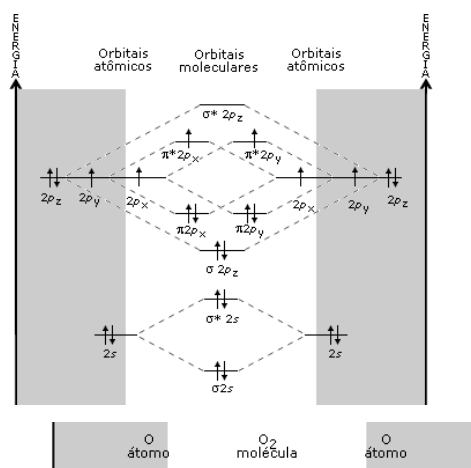
De acordo com a teoria de Lewis e a TLV a ligação química dos átomos do oxigênio poderia ser representada da seguinte forma:



Nesta representação todos os elétrons estão emparelhados. Desse modo, o magnetismo do O_2 contradiz as descrições de Lewis e da TLV. O problema pode ser resolvido pela teoria do orbital molecular (TOM) que, é baseada na mecânica quântica e, considera que os elétrons de valência estão deslocalizados sobre toda a molécula, de modo a não pertencerem a nenhuma ligação em particular. Para explicar as ligações químicas segundo a TOM pode-se fazer uso do modelo da combinação linear de orbitais atômicos, a partir do qual se considera que, há formação de orbitais moleculares por meio da “superposição” de orbitais atômicos que pertencem à camada de valência dos átomos da molécula.

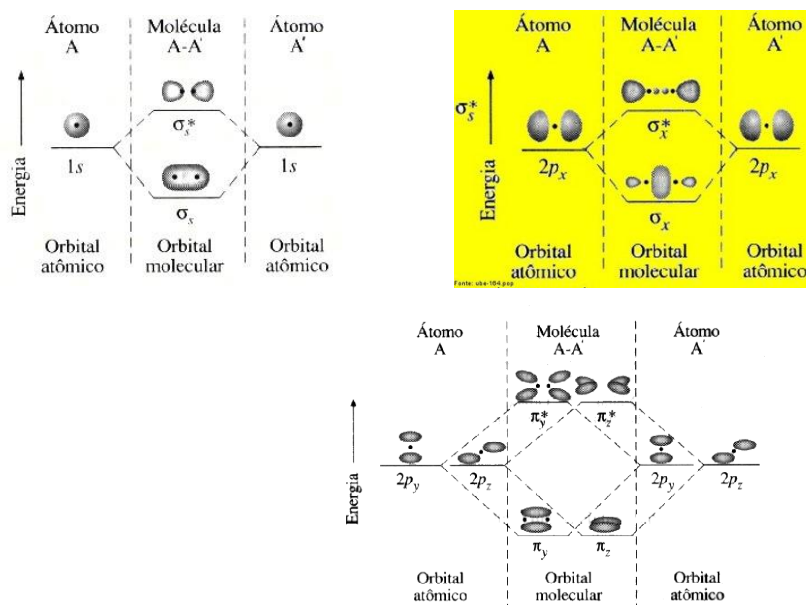
Quando dois orbitais atômicos se superpõem construtivamente, formam-se orbitais ligantes e, quando interferem destrutivamente formam orbitais antiligantes. Vale ressaltar que, N orbitais atômicos geram N orbitais moleculares e, os orbitais ligantes apresentam uma energia menor do que os orbitais antiligantes. Estes orbitais apresentam uma superfície nodal, de modo que quando ocupados por um elétron, este é fortemente excluído da região internuclear. Isso explica porque o elétron que ocupam tais orbitais moleculares tem energia maior do que do caso dos orbitais atômicos.

As energias relativas dos orbitais moleculares ligantes e antiligantes são comumente representadas na forma de um diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares, como aquele feito para o oxigênio nas representações do lado direito do “Vê”. A distribuição dos elétrons nos orbitais atômicos, também, seguem o princípio da exclusão de Pauli e a Regra de Hund, como representado na Figura abaixo, tomando como exemplo a molécula de O_2 .

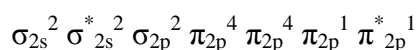


Conforme observado na Figura acima, a molécula de oxigênio apresenta dois elétrons desemparelhados. Desse modo, a propriedade paramagnética do oxigênio pode ser explicada pela TOM, ao observarmos o diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares do O_2 , no qual cada um dos orbitais moleculares π^* e π , estão ocupados por apenas um elétron.

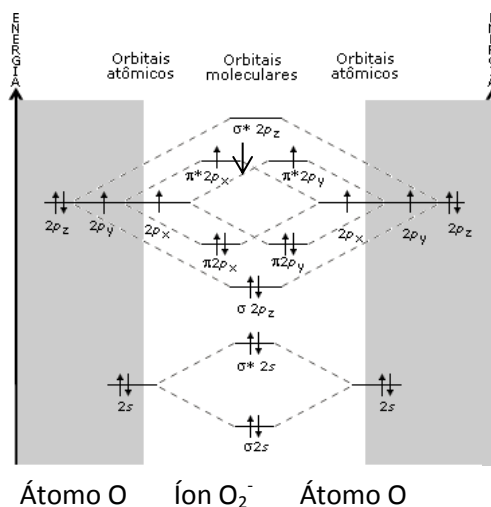
Assim, como os orbitais atômicos, os orbitais moleculares são funções matemáticas bem definidas que podem ser determinadas em qualquer ponto do espaço e representados por meio de um desenho tridimensional. A representação dos orbitais moleculares para a molécula de O_2 seria como a apresentada na Figura abaixo:



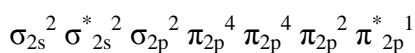
Com base no diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares do O_2 , pode escrever a configuração do estado fundamental para a referida molécula, da seguinte forma:



No caso do íon O_2^- o diagrama de níveis de energia dos orbitais moleculares seria o seguinte:



Observe que no caso do íon O_2^- o número de elétrons distribuídos foi 13 e não 12 como no caso da molécula de O_2 . Desse modo, a configuração eletrônica do íon O_2^- seria a seguinte:



De acordo com a TOM, o número líquido de ligações possíveis para as referidas espécies químicas, pode ser determinado pela ordem de ligação (BO), mediante a seguinte fórmula:

$$BO = 1/2 (N - N^*)$$

em que N é o número de elétrons nos orbitais ligantes e N^* é o número de elétrons nos orbitais antiligantes. Assim, como expresso nas transformações, do lado direito do Vê, a ordem de ligação do O^2 é 2 e do O_2^- é 1,5.

Pela definição de ordem de ligação, uma ligação covalente simples é de ordem um, uma ligação covalente dupla é de ordem dois e, uma ligação covalente tripla é de ordem três. Assim, o valor de BO igual a dois significa que a ligação entre os átomos de oxigênio na molécula de O_2 é dupla, como previsto pela estrutura de Lewis. No entanto, a estrutura de Lewis não considera o fato de que a ligação dupla da molécula é, na realidade, uma ligação σ mais duas “meias ligações π ” – cada meia ligação sendo um elétron em um orbital ligante e um elétron em um orbital antiligante.

Antes de expressar a relação entre a ordem de ligação, a energia e, o comprimento da ligação, é relevante destacar o que se entende por estes dois conceitos. A energia de ligação é a energia libertada quando um mol de moléculas é formado a partir de átomos isolados e no estado gasoso. É um parâmetro importante, sobre a estabilidade da molécula. Portanto, quanto

maior o valor da energia de ligação mais estável é essa ligação. Já o comprimento de ligação é a distância média entre os núcleos de dois átomos ligados na posição de maior estabilidade.

A ordem de ligação nem sempre é um número inteiro, ela pode ser também uma fração, como observado para o íon O_2^- . Este apresenta um elétron a mais em um orbital antiligante, do que o O_2 , enfraquecendo, assim, a ligação de 2 para 1,5. Desse modo, o comprimento da ligação do O_2^- é maior e conseqüentemente a energia de ligação será menor. A explicação para isso está relacionada à ocupação de orbitais antiligantes que, apresentam energia maior do que dos orbitais atômicos que os originaram, e assim, desfavorecem a ligação. Portanto, uma molécula estável tem mais elétrons em orbitais ligantes do que em orbitais antiligantes.

Como revelado, nos princípios, às forças e os comprimentos de ligações correlacionam-se muito bem (um com o outro) e com a ordem de ligação. Desse modo tem-se que a entalpia de ligação para um dado par de átomos aumenta à medida que a ordem de ligação aumenta e o comprimento da ligação decresce à medida que a ordem de ligação aumenta. Assim, para um dado par de elementos, a entalpia de ligação aumenta à medida que o comprimento da ligação decresce.

No caso do O_2 e do O_2^- pode-se ainda dizer que, tanto a carga negativa quanto a BO menor contribuem para o aumento do comprimento da ligação no O_2^- , como expresso nas transformações, lado direito do Vê.

Espécie química	Comprimento de ligação	Ordem de ligação
O_2	comp./pm = 120,7	2
O_2^-	comp./pm = 126	1,5

Além das substâncias iônicas como o $NaCl_{(s)}$, e as covalentes como o $O_{2(g)}$ e o $S_{8(s)}$, existem também as substâncias metálicas, como os metais alcalinos e os alcalinos terrosos estudados no primeiro diagrama V. A partir da construção desse “Vê”, mais especificadamente os objetos, percebeu-se que os tais metais apresentam brilho metálico, que são característicos das substâncias metálicas. Tomando como base o $Li_{(s)}$, um sólido metálico, qual é a natureza das ligações químicas responsáveis presentes no mesmo e, como se explicam o fato de apresentarem brilho, serem bons são bons condutores elétricos e térmicos?

APÊNDICE F- Questionário para auxiliar na elaboração do “Vê”**Questionário para orientar a elaboração do Diagrama V (Rascunho)**

1) Quais são as questões-foco, ou seja, o problema que você está procurando resolver?

2) Quais são os objetos e acontecimento relacionados ao problema que se busca resolver?

3) Quais são os conceitos-chave - conceitos químicos - necessários para a compreensão do problema investigado? Expresse os conceitos na forma de um mapa conceitual. Não se esqueça de indicar o tema do mapa conceitual.

4) Qual é a teoria que permite explicar o porquê e como os objetos e acontecimentos investigados exibem as características esperadas?

5) Qual é o modelo, no contexto da química, capaz de explicar o acontecimento investigado? Lembre-se de que os modelos não são cópias fieis da realidade, mas sim uma representação parcial da mesma. Dessa forma, permite-nos dentre outras coisas, fundamentar a elaboração de questões sobre a realidade, sobre as teorias a ela relacionadas e sobre como a realidade e teorias se relacionam. Desse modo o modelo proposto deve ser condizente com a teoria que o subjaz.

6) Quais são os princípios que descrevem como os objetos e acontecimentos observados funcionam ou parecem ser estruturados?

7) Quais são os procedimentos metodológicos utilizados na investigação? Ou seja, quais os dados que possuem sobre os objetos e acontecimentos investigados? Como estes dados devem ser transformados a fim de obter uma resposta às questões-foco?

8) Com base no modelo sugerido, proponha uma representação, por meio de um desenho, para acontecimento investigado.

9) De modo resumido, quais são os mais importantes juízos cognitivos obtidos? Ou seja, qual é a resposta às questões-foco investigadas? Lembre-se que os juízos cognitivos resultam não só dos dados e de suas transformações, mas é fundamentada em aspectos teóricos, como a teoria e os princípios.

10) Quais são os juízos de valor atribuídos a esta investigação? Ou seja, qual é o valor ou a relevância que você atribui ao novo conhecimento produzido (juízos cognitivos)?

APÊNDICE H- Termo de consentimento livre e esclarecido**Carta de informação e Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

Pelo presente instrumento, que atende às exigências legais, eu _____, informo estar ciente de

que no âmbito da UNIFAL-MG, desenvolve-se a pesquisa intitulada “Diagrama V como instrumento avaliativo da aprendizagem de alunos de um curso de Química Licenciatura”, e firmo o consentimento livre e esclarecido de concordância na participação da pesquisa proposta. Informo também estar ciente de que os dados de pesquisa serão coletados por meio de questionários, elaboração de diário de campo referente ao acompanhamento das aulas teóricas e atividades experimentais e instrumentos avaliativos tais como provas, mapas conceituais e diagramas V. A referida pesquisa tem por fundamentação teórica, os pressupostos da “Teoria da Aprendizagem Significativa” e a divulgação do trabalho terá finalidade acadêmica, esperando contribuir para um maior conhecimento do tema estudado.

Afirmo estar ciente de que serão realizados todos os procedimentos necessários para garantir o sigilo dos participantes da pesquisa. As produções científicas decorrentes dos dados coletados não irão, sob nenhuma hipótese, explicitar a identidade dos participantes. Fica claro que o sujeito de pesquisa ou seu representante legal podem, a qualquer momento, retirar seu CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO e deixar de participar do estudo alvo da pesquisa e fica ciente que todo trabalho realizado torna-se informação confidencial, guardada por força do sigilo profissional.

Constituem-se responsáveis pela pesquisa a bolsista Maria Fernanda Campos Mendonça ((35) 88419528 ou nandacampos.mendonc@gmail.com) e a docente Profa. Dra. Márcia Regina Cordeiro ((35) 32991261 ou marcia.unifal@gmail.com). Também poderá ser consultado para dúvidas, sugestões ou queixas, o Comitê de Ética em Pesquisa da UNIFAL-MG, através do telefone (35) 32991318.

Este documento está sendo confeccionado sob duas vias de igual teor, e cada uma delas estará sob os cuidados dos responsáveis pela pesquisa e do sujeito de pesquisa.

Alfenas, _____ de _____ de _____

Assinatura do sujeito ou seu representante legal.

APÊNDICE I- Estudo dirigido proposto para auxiliar na elaboração do primeiro diagrama V do estudo final

Química Inorgânica I – Prática 02 - Estudo dirigido Reatividade dos Metais Alcalinos e Alcalinos terrosos

TABELA PERIÓDICA

- 1) O que são elementos químicos e como eles estão organizados na tabela periódica?
- 2) Existem diferenças entre elemento químico e átomo?
- 3) Quais as informações que obtemos da tabela periódica?
- 4) O que são metais, não metais e metaloides? Quais são as suas características? Que tipo de matéria são os metais? Eles são uma mistura ou uma substância? Se forem misturas, de que tipo são? Se forem substâncias, de que tipo são?
- 5) Como os metais são encontrados na natureza?
- 6) Qual é a relação entre a posição dos elementos químicos na tabela periódica e sua configuração eletrônica?
- 7) Quem são os metais alcalinos? Quais são suas semelhanças e diferenças?
- 8) Quem são os metais alcalinos terrosos? Quais são suas semelhanças e diferenças?

PROPRIEDADES PERIÓDICAS

- 9) O que são elementos químicos e como eles estão organizados na tabela periódica?
- 10) Existem diferenças entre elemento químico e átomo?
- 11) Quais as informações que obtemos da tabela periódica?
- 12) O que são metais, não metais e metaloides? Quais são as suas características? Que tipo de matéria são os metais? Eles são uma mistura ou uma substância? Se forem misturas, de que tipo são? Se forem substâncias, de que tipo são?
- 13) Como os metais são encontrados na natureza?
- 14) Qual é a relação entre a posição dos elementos químicos na tabela periódica e sua configuração eletrônica?
- 15) Quem são os metais alcalinos? Quais são suas semelhanças e diferenças?
- 16) Quem são os metais alcalinos terrosos? Quais são suas semelhanças e diferenças?

MODELO ATÔMICO

- 1) Qual é a característica principal do modelo quanto-mecânico do átomo?
- 2) Qual é a diferença entre orbital e órbita?
- 3) Quais são as forças que atuam em um átomo?
- 4) Quais são as formas e as orientações dos orbitais atômicos (s, p e d) no espaço?
- 5) Qual é o efeito da carga nuclear na energia dos orbitais atômicos? Relacione com os efeitos de penetrabilidade e a configuração eletrônica. Por que o orbital 4s tem energia menor do que o orbital 3d?
- 6) Qual é a relação entre o raio atômico e o tamanho dos orbitais atômicos?
- 7) Qual é a relação entre o tamanho dos orbitais atômicos e os períodos da tabela periódica? Um orbital 3p tem o mesmo tamanho que um orbital 4p?

REATIVIDADE

- 1) O que é reatividade?
- 2) O que é estabilidade? Qual é a relação entre a estabilidade e a reatividade?
- 3) Que configuração eletrônica confere ao átomo maior estabilidade? E qual é a sua relação com as forças de atração e repulsão?
- 4) O que caracteriza a reatividade de uma espécie química? Por que algumas delas são mais reativas do que outras?
- 5) Qual é a relação entre a reatividade e as propriedades periódicas?
- 6) Qual é a relação entre a reatividade e a carga nuclear efetiva?
- 7) Qual é a relação entre a reatividade e configuração do nível de valência de um elemento químico?

Referências bibliográficas

Atkins, Peter. Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente/ Peter Atkins, Loreta Jones; tradução Ricardo Bicca de Alencastro.- 3ª ed. – Porto Alegre: Bookman, 2006.

J. D. Lee. Química Inorgânica Não tão concisa. Tradução da 5ª edição Inglesa – 5ª reimpressão – 2006.

ANEXOS

ANEXO A- Estratégia para introdução dos mapas conceituais

1. *Actividades prévias para preparar a elaboração dos mapas conceituais*
 1. Prepare duas listas de palavras conhecidas: uma de nomes de objectos e outra de designações de acontecimentos. Por exemplo, os nomes de objectos poderão ser carro, cão, cadeira, árvore, nuvem, livro; e as designações de acontecimentos poderão ser chuva, brincadeira, lavagem, pensamento, trovão, festa de anos. Pergunte aos alunos se eles conseguem explicar quais são as diferenças que existem entre as duas listas.
 2. Peça aos alunos que descrevam em que é que pensam quando ouvem a palavra carro, cão, etc. Faça com que eles se apercebam que embora usemos as mesmas palavras, cada um de nós pode pensar em algo um pouco diferente. Estas imagens mentais que associamos às palavras são os nossos *conceitos*; introduza a palavra conceito.
 3. Repita as actividades do ponto 2, utilizando agora palavras que designam acontecimentos. Mais uma vez, realce as diferenças nas nossas imagens mentais ou conceitos, referentes aos acontecimentos. Neste ponto, pode sugerir que uma das razões porque temos muitas vezes dificuldades em nos entendermos é o facto de os nossos conceitos não serem idênticos, embora conheçamos as mesmas palavras. As palavras são simples rótulos para os conceitos, mas cada um de nós tem de adquirir o seu próprio significado para as palavras.
 4. Agora liste palavras tais como são, onde, o, é, então, com. Pergunte aos alunos que imagens se formam nas suas mentes ao ouvirem cada uma destas palavras. Estas não traduzem conceitos; chamamo-lhes palavras de ligação e usamo-las no discurso oral e escrito. As palavras de *ligação* utilizam-se, juntamente com os conceitos, para construir expressões que têm significado.
 5. Os nomes próprios não são conceitos mas sim nomes de pessoas, acontecimentos, lugares ou objectos específicos. Utilize alguns exemplos e ajude os alunos a perceber a distinção entre as palavras que traduzem as *regularidades* dos acontecimentos ou objectos e as que designam acontecimentos ou objectos específicos (são os nomes próprios).
 6. Construa no quadro algumas frases curtas utilizando dois conceitos e palavras de ligação, de modo a ilustrar como é que os seres humanos utilizam os conceitos e as palavras de ligação para transmitir algum significado. Por exemplo: “O cão corre” ou, “Há nuvens e trovões”.
 7. Peça aos alunos que construam algumas frases curtas da sua autoria, que identifiquem as palavras de ligação e os conceitos e digam se estes se referem a objectos ou acontecimentos.
 8. Se tiver na turma estudantes bilingues, peça-lhes que mencionem algumas palavras estrangeiras que correspondam aos mesmos acontecimentos ou objectos. Ajude os alunos a perceberem que não é a linguagem que

faz os conceitos. As palavras servem apenas como rótulos que usamos para referenciar os conceitos. Se aprendermos as palavras mas não as regularidades nos objectos ou acontecimentos que essas palavras representam, não aprenderemos conceitos novos.

9. Introduza algumas palavras pequenas mas que não sejam familiares à turma, tais como crítico ou conciso. Estas são palavras que designam conceitos que eles já conhecem, mas têm um significado de algum modo especial. Ajude os alunos a perceberem que os conceitos não são rígidos e fixos, mas podem desenvolver-se e mudar à medida que vamos aprendendo.
10. Escolha uma secção de um livro de texto (uma página é suficiente) e tire fotocópias para distribuir pelos alunos. Escolha uma passagem que transmita uma mensagem concreta e peça aos alunos que a leiam e identifiquem os conceitos chave. (Normalmente encontram-se 10 a 20 conceitos relevantes numa página de um livro de texto.) Além disso, diga aos alunos para anotarem os conceitos e as palavras de ligação que são menos importantes para se entender o sentido do texto.

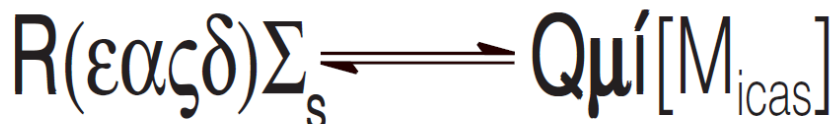
B. Actividades de elaboração dos mapas conceptuais

1. Selecciona um ou dois parágrafos especialmente significativos de um livro de texto ou de qualquer outro tipo de material impresso e peça aos estudantes que o leiam e seleccionem os conceitos mais importantes, ou seja, os conceitos que são necessários para se entender o significado do texto. Depois de estes conceitos terem sido identificados, prepare com eles uma lista no quadro ou projecte-a com o retroprojector e discuta com os estudantes qual é o conceito mais importante, qual é a ideia mais inclusiva do texto.
2. Coloque o conceito mais inclusivo ao princípio de uma nova lista ordenada de conceitos e vá-lhe acrescentando os restantes conceitos da primeira lista até todos os conceitos terem sido ordenados, da maior à menor generalidade e inclusividade. Os estudantes não estarão sempre todos de acordo em relação à ordenação, mas geralmente produzir-se-ão poucas diferenças de opinião que sejam relevantes. Aliás, isto é positivo, porque sugere que há mais do que uma maneira de entender o significado de um texto.
3. Agora, comece a elaborar um mapa, utilizando como referência a lista ordenada. Incentive os alunos a ajudar, pedindo-lhes que sugiram palavras de ligação adequadas para formar as proposições que se mostram nas linhas do mapa. Uma forma de fazer com que eles pratiquem a elaboração de mapas é dizer a alguns estudantes para escreverem conceitos e palavras de ligação em rectângulos de papel e depois reordenarem estes rectângulos à medida que vão descobrindo novas formas de organizar o mapa. (Consulte a figura 2.10.)

4. Procure, a seguir, ligações cruzadas entre conceitos de uma secção do mapa e conceitos noutra parte da “árvore” de conceitos. Peça aos alunos que ajudem na escolha de palavras de ligação para as ligações cruzadas.
5. A maior parte dos primeiros mapas têm uma má simetria ou apresentam grupos de conceitos com uma localização deficiente em relação a outros conceitos ou grupos de conceitos com os quais estão intimamente relacionados. Há que refazer os mapas, se tal se entender como útil. Explique aos estudantes que, para se conseguir uma boa representação dos significados preposicionais, tal como eles os entendem, há que refazer o mapa pelo menos uma vez, e por vezes duas ou três.
6. Discuta o critério de classificação dos mapas conceptuais apresentado na tabela 2.4. e classifique o mapa conceptual que foi construído. Realce possíveis mudanças estruturais que possam melhorar o significado, ou mesmo a pontuação, do mapa.
7. Peça aos estudantes para escolherem uma secção de texto ou outro material e repetirem sozinhos os passos 1-6 (ou em grupos de dois ou três).
8. Os mapas elaborados pelos estudantes podem ser apresentados à turma no quadro ou em acetatos. Peça aos estudantes que “leiam” os mapas que elaboraram para tornar claro aos seus colegas de turma qual é o tema do texto, segundo a sua interpretação.
9. Solicite aos estudantes que construam mapas conceptuais das ideias mais importantes dos seus passatempos favoritos, o desporto ou tudo aquilo que lhes interesse particularmente. Estes mapas podem ser colocados à turma, fomentando-se discussões informais sobre eles.
10. No próximo teste, inclua uma ou duas perguntas sobre mapas conceptuais, para deixar claro que tais mapas constituem um procedimento válido de avaliação que exige pensar atentamente e que pode revelar a compreensão da matéria.

ANEXO B- Artigo base para a elaboração do primeiro mapa conceitual do estudo preliminar

**CONCEITOS
CIENTÍFICOS
em
DESTAQUE**



fenômeno, transformação e representação

Alice Ribeiro Casimiro Lopes

A seção “Conceitos Científicos em Destaque” engloba artigos que abordam de forma nova e/ou crítica conceitos químicos ou de interesse direto dos químicos.

Neste artigo, tratamos das reações químicas — dos fenômenos e de suas representações, as equações químicas.

► reação química, equação química, fenômeno ◀

Em nossa linguagem cotidiana, fenômeno significa acontecimento extraordinário, não corriqueiro. Dentro do campo científico, fenômeno assume significado oposto: cientistas trabalham cotidianamente com fenômenos ou transformações variadas. E mais: a forma de concebermos o fenômeno científico associa-se diretamente a nossa própria concepção de ciência.

Quando consideramos fenômeno tudo aquilo que acontece na natureza, associamo-nos a uma concepção filosófica que entende o processo de fazer ciência como observar fenômenos, constatar suas regularidades, elaborar experimentos capazes de reproduzi-los, formular hipóteses e concluir leis que descrevam esses fenômenos e/ou teorias que os expliquem. Dentro dessa concepção, denominada genericamente empírico-positivista, a objetividade do cientista é tão maior quanto menor for sua interferência sobre o objeto de estudo, ou seja, quanto maior for a separação sujeito—objeto.

Na ciência contemporânea, essa concepção se modifica radicalmente. Cientistas já não são meros contempladores da natureza, aqueles e aquelas que estudam os fenômenos *dados* pela natureza. Hoje em dia, cientistas *constroem* fenômenos que sequer existem naturalmente, transcendendo ao objeto dado. Isso é facilmente constatado na química: químicos produzem substâncias sintéticas

com propriedades completamente novas, constroem moléculas com características apropriadas a determinados fins. Esse processo de construção se faz por uma dupla via, instrumental e teórica: há um instrumento mediando a relação sujeito—objeto e uma teoria capaz de permitir a compreensão do fenômeno e do instrumento.

Analisaremos neste artigo como essa concepção de fenômeno é capaz de nos fazer repensar as tradicionais classificações dos fenômenos em físicos e químicos, evidenciando suas limitações, bem como permitindo a melhor compreensão das reações químicas e das formas como as representamos e classificamos.

Reações químicas

Alguns livros didáticos permanecem com uma classificação antiga, distinguindo os fenômenos em reversíveis (físicos) e irreversíveis (químicos). Isso porque os fenômenos físicos são considerados ‘superficiais’, transformações ligeiras, e os fenômenos químicos ‘profundos’, transformações mais definitivas.

Essa diferenciação mostra-se equivocada, porque a reversibilidade não é um critério científico de distinção dos diferentes fenômenos. Dobrar uma barra de ferro ou rasgar uma folha de papel, por exemplo, não são atos que impliquem a constituição de novas

substâncias e tampouco são reversíveis. Por outro lado, a reação química:



tem sua reversão com a variação da temperatura facilmente observada, já que é endotérmica.

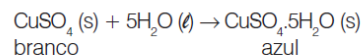
Outra forma que muitos livros didáticos utilizam para distinguir fenômenos físicos e químicos é a variação de propriedades macroscópicas das substâncias. Também aí podemos encontrar problemas. A vaporização da água e a dissolução de açúcar em água acarretam grandes diferenças nas propriedades macroscópicas e no entanto

Cientistas já não são meros contempladores da natureza. Hoje em dia, eles constroem fenômenos que sequer existem naturalmente, transcendendo ao objeto dado

não costumamos classificar as mudanças de fase e as dissoluções como fenômenos químicos.

Se essas e outras formas de classificação se mostram equivocadas, porque nos

prendemos a elas? Deixamos de perceber que, mesmo do ponto de vista energético, os limites entre os fenômenos comumente classificados como físicos e químicos não são nada rígidos. Por exemplo, o processo de hidratação do sulfato de cobre, em que há passagem do branco ao azul intenso, é um fenômeno físico ou químico?



Além do mais, de maneira geral trabalhamos com processos tradicionalmente classificados tanto como químicos quanto como físicos, muitas

7

vezes acontecendo conjuntamente. Na reação do hidróxido de sódio sólido com ácido clorídrico aquoso há dissolução, reação e hidratação de íons. Em outros processos também ocorrem, paralelamente, mudanças de fase.

Assim sendo, torna-se muito mais importante que os alunos compreendam a multiplicidade de fenômenos com que trabalhamos, sabendo reconhecê-los, descrevê-los e explicá-los com base em modelos científicos, ao invés de se prenderem a classificações mecânicas (o artigo apresentado na seção "Aluno em foco", neste número de *Química Nova na Escola*, apresenta outros argumentos que reforçam essa conclusão).

Com esses pressupostos, podemos compreender que na ciência contemporânea a reação química não é apenas o fenômeno químico que ocorre naturalmente, produzindo novas substâncias: é também um *programa artificial* de produção de novas substâncias. O químico pesquisa quais reações serão capazes de produzir substâncias com as propriedades desejadas. E o processo reacional só pode ser compreendido mais claramente se associamos as transformações das substâncias às transformações energéticas, de forma dinâmica, evitando a abordagem mecânica — mero jogo de armar que normalmente conferimos ao ensino das reações através de suas representações: as equações químicas.

Representação das reações químicas: as equações

A equação molecular tem sido ensinada a nossos alunos dos níveis fundamental e médio quase como uma profissão de fé: ela é a base para as usuais classificações das reações em síntese, análise, dupla troca e simples troca (ou deslocamento). Mas por que assim procedemos, se comumente trabalhamos com reações em solução aquosa?

Algumas pistas para responder a essa questão encontramos na origem histórica desse modelo. Em 1812, Berzelius apresenta uma concepção, influenciada pelo mecanicismo newtoniano, que visa comparar a força da afinidade química com a força mecâ-

nica. Seu objetivo maior era um dia poder expressar as afinidades dos elementos nas substâncias tal como se expressavam forças mecânicas.

Quando utilizamos as equações químicas e suas classificações indistintamente para meio aquoso e não-aquoso, estamos simplesmente seguindo Berzelius, sem atentar para desenvolvimentos posteriores da química

Berzelius desenvolve o sistema dualístico dos compostos químicos, tendo por base sua visão de afinidade e sua teoria eletroquímica. A ligação química é concebida como tendo natureza elétrica, e as substâncias são representadas por pares em que uma das partes é eletricamente positiva e a outra eletricamente negativa. Exemplo: Na_2SO_4 era o $\text{Na}_2\text{O}.\text{SO}_3$, cujas unidades podiam ser mais uma vez divididas em componentes eletropositivo e eletronegativo.

Com essa teoria, Berzelius explica claramente as reações de dupla troca ($\text{AB} + \text{CD} = \text{AD} + \text{CB}$) ou de deslocamento ($\text{AB} + \text{C} = \text{CB} + \text{A}$), nas quais a polaridade elétrica se encontra mais bem neutralizada nos produtos. Como ele estabelecera uma escala de eletropositividade¹ das substâncias, a partir de experimentos eletrolíticos, podia-se concluir logicamente quais reações deveriam ocorrer.

Hoje, quando utilizamos as equações químicas e suas respectivas classificações indistintamente para meio aquoso e não-aquoso, estamos simplesmente seguindo Berzelius, sem atentar para desenvolvimentos posteriores da química, como por exemplo a teoria da dissociação eletrolítica de Arrhenius e as teorias da ligação química.

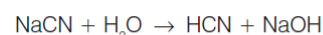
Senão, vejamos: a reação de neutralização do NaOH pelo HCl é considerada de dupla troca, quando em solução aquosa deveria ser considerada como síntese da água, a partir de hidrônio² e hidroxila. Isso porque a solução aquosa de NaOH é uma solução contendo íons Na^+ e OH^- dissociados e a solução aquosa de

HCl é uma solução contendo íons H_3O^+ e Cl^- . Assim sendo, a reação se dá apenas entre hidrônio e hidroxila. Os íons Na^+ e Cl^- permanecem dissociados.

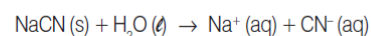
Da mesma forma, a reação de deslocamento entre Zn^0 e CuSO_4 deveria ser considerada uma oxirredução em solução aquosa, uma troca de elétrons entre o metal zinco e os íons Cu^{2+} , formando Zn^{2+} e cobre metálico. Os íons sulfato não participam da reação, permanecendo dissociados.

Em resumo, não há 'trocas' ou 'deslocamentos' quando tratamos de íons dissociados em solução aquosa. E mesmo que no nível fundamental não trabalhe com teorias de dissociação, perde o sentido nos preocuparmos com classificações que não têm utilidade nem na vida prática nem no campo científico.

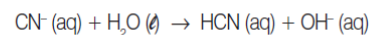
Com isso, não apenas mantemos nossos alunos com um conhecimento obsoleto, mas dificultamos sua compreensão das espécies iônicas e dos processos de equilíbrio. Por exemplo, quando repetimos o grande erro de muitos livros didáticos ao expressarem equações como:



Nesse caso, os livros didáticos levam alunos a pensar nesse processo como sendo uma possibilidade de formação do NaOH. A dissolução em água do cianeto (comumente conhecido como cianureto, veneno letal que origina o gás cianídrico, utilizado nas câmaras de gás para execução de condenados) expressa dessa forma desconsidera que este é a soma de dois processos com extensões diversas: a dissolução do sal NaCN (tendendo a 100%)



e a protonação³ do cianeto pela água (extensão mínima)



Considerações finais

Em face das discussões apresentadas acima, percebemos que precisamos nos preocupar menos com

certos formalismos que enfatizam as classificações em detrimento do desenvolvimento dos conceitos.

Em seus primeiros contatos com a química, uma aluna ou um aluno precisa compreendê-la como o estudo das reações químicas, reações essas que definem as propriedades químicas das substâncias. É importante, não só para o entendimento da química mas também para a formação do pensamento científico de alunos e de alunas de maneira mais ampla, desenvolvermos a noção de propriedade como fruto de uma relação entre substâncias, como foi discutido no artigo "O mito da substância", no primeiro número desta revista.

Para tanto, a conceituação de fenômeno, sem considerar classificações limitadas em fenômenos físicos e químicos, permite que encaremos a transformação no sentido mais amplo; não apenas natural, não apenas observável, mas

produzida, programada, construída pela via experimental e teórica.

Talvez seja difícil mudar — é assim que fomos ensinados e é assim que pensamos até hoje, mas a clareza racional e a melhor aprendizagem de nossos alunos certa-

Notas

1. Trata-se de um conceito que se diferencia de nossa atual concepção de eletropositividade. Para Berzelius, a eletropositividade era medida a partir de processos eletrolíticos, estando mais próxima do conceito que hoje temos para potencial de eletrodo. Para conhecer com mais detalhes essa escala de eletropositividade de Berzelius, bem como sua teoria eletroquímica, sugerimos a leitura do livro de Rheinboldt, citado na bibliografia.

2. O hidrônio é representado simplificada-mente como H_3O^+ , mas o próton atrai mais moléculas de água, podendo formar o $H_9O_4^+$.

3. Protonar significa receber o próton, o íon hidrogênio (H^+), da água ou de outra espécie que atue como ácido de Bronsted-Löwry.

mente compensarão as dificuldades iniciais.

Alice Ribeiro Casimiro Lopes é professora de físico-química na Escola Técnica Federal de Química - RJ e doutoranda em educação na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Referências Bibliográficas

LOPES, ALICE R.C. *Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química*. Dissertação (Mestrado em Educação) Rio de Janeiro: IESAE, FGV, 1990.

RHEINBOLDT, H. *História da balança e a vida de J.J. Berzelius*. São Paulo: Nova Stela/EDUSP, 1988.

Para saber mais

LOPES, A.R.C. A concepção de fenômeno no ensino de química brasileiro através dos livros didáticos. *Química Nova*. São Paulo, v. 17, n. 4, p. 338-341, jul. 1994.

OLIVEIRA, R.J. de. O mito da substância. *Química Nova na Escola*. São Paulo, n. 1, p. 8-11, mai. 1995.

9

EVENTOS EM REVISTA

18ª Reunião Anual da SBQ em Caxambu

É comum entre os professores ouvirmos a distinção entre "fazer pesquisa em química" e "trabalhar com ensino de química", como se fosse impossível "trabalhar com pesquisa" em ensino de química. Entretanto, há o "fazer pesquisa em ensino de química", que embora historicamente recente (veja artigo em *QNE*, 1995, nº 1, p. 27-31) possui espaço na SBQ, através da Divisão de Ensino. Nesse sentido, uma seção do livro de resumos da Reunião Anual da Sociedade é dedicada especificamente ao ensino de química (EQ).

Realizada de 30 de maio a 2 de junho de 1995, a 18ª Reunião Anual da SBQ teve parte de sua programação especialmente voltada ao ensino de química. As atividades organizadas pela divisão de ensino incluíram uma conferência proferida pela profa. Isabel Martins, da Universidade de Aveiro, Portugal; uma sessão coordenada; a Assembléia Geral da Divisão;

duas sessões de painéis, onde foram apresentados 49 dos 51 trabalhos inscritos, e a solenidade de lançamento da revista *Química Nova na Escola*, certamente o mais marcante acontecimento da reunião. O primeiro número da nova revista da SBQ teve uma tiragem de 19 mil exemplares, enviados gratuitamente à grande maioria dos professores de química do país, estimados em aproximadamente 15 mil.

O expressivo número de trabalhos apresentados reforça a certeza de que temos condições de melhorar nosso trabalho em sala de aula, a partir de subsídios que a pesquisa em ensino nos oferece. Esta revista representa mais um espaço para que nós, professores de química, melhoremos o processo ensino-aprendizagem em química sob nossa responsabilidade.

Nos trabalhos apresentados foi possível identificar linhas de pesquisa na área que muito nos interessam.

Podemos sintetizá-las como: a) pesquisa sobre o processo de ensino e aprendizagem de química; b) formação e educação continuada de professores; c) concepções de alunos e professores; d) resolução de problemas teóricos e práticos em química; e) avaliação de livros didáticos; f) vestibular; g) materiais e recursos didáticos no ensino de química; h) currículos e programas; i) o papel da experimentação no ensino de química; j) avaliação de aprendizagem em química.

Com certeza, todos os que atuam como professores de química encontrarão nos resumos da 18ª Reunião Anual da SBQ ricas fontes para aprimorar seu trabalho docente, bem como colaborar com sua vivência para subsidiar os demais colegas no esforço comum de educar através da química. A revista *Química Nova na Escola* pretende colaborar igualmente nesse esforço! (Ricardo Gauche, UnB)