



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANA PAULA HILÁRIO GREGÓRIO

**IDENTIFICAÇÃO E SUPERAÇÃO DOS EQUÍVOCOS
CONCEITUAIS E PROCEDIMENTAIS INFLUENCIADOS POR
AFFORDANCES NEGATIVOS NO PROCESSO DE ENSINO E
APRENDIZAGEM DE QUÍMICA**

ANA PAULA HILÁRIO GREGÓRIO

**IDENTIFICAÇÃO E SUPERAÇÃO DOS EQUÍVOCOS
CONCEITUAIS E PROCEDIMENTAIS INFLUENCIADOS POR
AFFORDANCES NEGATIVOS NO PROCESSO DE ENSINO E
APRENDIZAGEM DE QUÍMICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

A532 Gregório, Ana Paula Hilário.
Identificação e superação dos equívocos conceituais e procedimentais influenciados por affordances negativos no processo de ensino e aprendizagem de química / Ana Paula Hilário Gregório. - Londrina, 2021.
191 f. : il.

Orientador: Carlos Eduardo Laburú.
Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Affordances Negativos - Tese. 2. Equívocos Conceituais e Procedimentais - Tese. 3. Ensino e Aprendizagem de Química - Tese. 4. Indicações Circunstanciais - Tese. I. Laburú, Carlos Eduardo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

CDU 37

ANA PAULA HILÁRIO GREGÓRIO

**IDENTIFICAÇÃO E SUPERAÇÃO DOS EQUÍVOCOS
CONCEITUAIS E PROCEDIMENTAIS INFLUENCIADOS POR
AFFORDANCES NEGATIVOS NO PROCESSO DE ENSINO E
APRENDIZAGEM DE QUÍMICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Daniel Trevisan Sanzovo
Universidade Estadual do Norte do Paraná

Prof. Dr. Enio de Lorena Stanzani
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dra. Marcela Teixeira Godoy
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dra. Simone Alves Martorano
Universidade Federal de São Paulo

Londrina, 27 de agosto de 2021.

Dedicatória

À minha filha, Maria Luísa, a caminho da vida.

Por sua existência.

Ao meu amado esposo, André.

Pelo amor, carinho e paciência.

Aos meus pais, Jair e Rose.

Simplesmente, por tudo!

AGRADECIMENTOS

A Deus!

Quero expressar, nestas linhas, a gratidão imensa que sinto por sua presença em meu ser. Eu agradeço pelo dom da vida e pela direção que tem dado a ela. Quantas surpresas e oportunidades agradáveis! Aqui, em especial, preciso agradecer por colocar no meu caminho pessoas imprescindíveis para minha formação humana e profissional. São elas:

À minha família, especialmente

ao meu esposo, André, por cuidar tão bem de mim e compreender a esposa estudante que sou. Obrigada por me incentivar e acreditar nos meus sonhos. Obrigada pela ajuda constante e apoio nos momentos de desespero durante a escrita da tese. Sem você, eu não conseguiria.

À minha filha, Maria Luísa. Você me deu ânimo, força e coragem para eu enfrentar os desafios finais desta tese. Foi ótimo terminar esse processo com você dentro de mim. Obrigada por sua existência.

Aos meus pais, Jair e Rose. Sou muito agraciada por ser filha de um casal tão excepcional. Vocês são meus maiores exemplos de humanidade. Obrigada por tudo, mais uma vez.

Às minhas sobrinhas, as Quatro Marias: Maria Eduarda, Maria Vitória, Maria Sofia e Maria Fernanda, e a minha irmã querida, Fernanda. Obrigada, simplesmente, por tornarem meus dias mais felizes e agradáveis.

Ao orientador, Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú,

por me apresentar o conceito de *affordances* e mudar a minha concepção de aprender e de ensinar. Obrigada pelo exemplo de sabedoria, excelente profissionalismo e, acima de tudo, por contribuir à minha formação como pesquisadora em Ensino de Ciências. Sinto-me honrada em ter sido orientada por um grande pesquisador.

Aos membros da banca

pelas contribuições extremamente valiosas à tese. Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Enio de Lorena Stanzani, que acompanhou e participou do meu processo de aperfeiçoamento. Meu professor, orientador e colega de trabalho, foi muito bom compartilhar conhecimentos com você.

A todos os colegas do Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências e Educação Matemática,

especialmente à Elaine, Fernanda, Josiane, Keila e Maysa. Obrigada pelas conversas e conselhos que me tranquilizaram ao longo das etapas do doutorado. Foi ótimo dividir esse momento com todas vocês. Não posso deixar de fazer um agradecimento particular à Josiane, pelas leituras constantes da tese e incentivo à ideia de *affordances* e, à Fernanda, pelas trocas das dificuldades no desenvolvimento da pesquisa. Vocês foram fundamentais.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

pelo apoio financeiro.

GREGÓRIO, ANA PAULA HILÁRIO. **Identificação e superação dos equívocos conceituais e procedimentais influenciados por *affordances* negativos no processo de ensino e aprendizagem de química**. 2021. 191 p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

Esta tese insere-se na linha de pesquisa que se preocupa com a transposição de referenciais teóricos dos estudos semiológicos para a educação científica. Sob essa perspectiva, o objetivo do trabalho buscou identificar os *affordances* negativos dos signos e os equívocos conceituais e procedimentais influenciados por eles na aprendizagem de química dos estudantes e, examinar a natureza das representações sígnicas mediadoras da ação discursiva, que levaram os aprendizes à superação dessas incorreções. A pesquisa foi realizada com 20 estudantes do curso Técnico em Química, em 2019, 20 aprendizes do mesmo curso, em 2020 e 12 licenciandos do 1º ano do curso de Licenciatura em Química, em 2019. Para perscrutar os desvios de interpretação e ação instigados pelos *affordances* negativos, o trabalho se valeu de uma metodologia baseada na descrição da fala e gestos dos aprendizes durante instrução científica no laboratório didático. Portanto, obtivemos no referencial da multimodalidade representacional a fonte teórica para analisar as relações errôneas na aprendizagem dos estudantes e inclusive, para caracterizar as representações sígnicas mediadoras da composição discursiva, responsáveis por encaminhar o raciocínio dos aprendizes em direção ao acerto do procedimento ou à compreensão do conceito. Com relação aos resultados obtidos, constatamos *affordances* negativos nos objetos, diagramas, experimentos, equações, figuras, fórmulas químicas e gráficos. Também, mostramos que a emissão de representações sígnicas, principalmente, os signos com função de “indicações circunstanciais”, auxiliou os estudantes a ultrapassarem as incorreções influenciadas pelos *affordances* negativos. Os resultados da pesquisa permitiram refletir a respeito das concepções conceituais distorcidas e procedimentos errôneos dos aprendizes tendo como base o referencial de *affordances* negativos. Além disso, a contribuição da tese com a análise do percurso comunicativo consistiu em proporcionar àquele que ensina informações a respeito da natureza das representações sígnicas emitidas durante encaminhamentos dialógicos em situações de ensino e aprendizagem de química.

Palavras-chave: *Affordances* Negativos. Equívocos Conceituais e Procedimentais. Ensino e Aprendizagem de Química. Indicações Circunstanciais. Multimodos e Múltiplas Representações.

GREGÓRIO, Ana Paula Hilário Gregório. **Identification and overcoming of conceptual and procedural mistakes influenced by negative affordances in the teaching and learning process of chemistry**. 2021. 191 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

This thesis is part of a line of research that is concerned with the transposition of theoretical references from semiological studies to scientific education. From this perspective, the objective of the work sought to identify the negative affordances of signs and the conceptual and procedural mistakes influenced by them in students' chemistry learning, and to examine the nature of the sign representations that mediate the discursive action, which led learners to overcome these inaccuracies. The survey was conducted with 20 students from the Chemistry Technician course in 2019, 20 apprentices from the same course in 2020 and 12 1st year undergraduates of the Chemistry Graduation course in 2019. To investigate the deviations in interpretation and action instigated by negative affordances, the work used a methodology based on the description of the learners' speech and gestures during scientific instruction in the didactic laboratory. Therefore, we obtained in the representational multimodality framework the theoretical source to analyze the erroneous relationships in student learning and even to characterize the mediating sign representations of the discursive composition, responsible for forwarding the learners' reasoning towards the correctness of the procedure or the understanding of the concept. Regarding the results obtained, we found negative affordances in objects, diagrams, experiments, equations, figures, chemical formulas and graphs. We also show that the emission of sign representations, mainly the signs with the function of "circumstantial indications", helped students to overcome the inaccuracies influenced by negative affordances. The research results allowed us to reflect on the distorted conceptual conceptions and erroneous procedures of learners based on the framework of negative affordances. Furthermore, the contribution of the thesis to the analysis of the communicative path consisted in providing the teacher with information about the nature of the sign representations issued during dialogic forwarding in chemistry teaching and learning situations.

Key-words: Negative *Affordances*. Conceptual and Procedural Misconceptions. Teaching and Learning Chemistry. Circumstantial Indications. Multimodes and Multiple Representations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Transferidor	61
Figura 2 – Experimento da vela	62
Figura 3 – Esquema para classificação de compostos orgânicos com base nos grupos funcionais	81
Figura 4 – Efeito da temperatura no equilíbrio entre CoCl_2 dissolvido em HCl	87
Figura 5 – Esquema da análise e discussão do caso 1	92
Figura 6 – Formas representacionais gráficas da concentração <i>versus</i> tempo e velocidade <i>versus</i> tempo.....	93
Figura 7 – Formas representacionais gráficas no ensino de equilíbrio químico	94
Figura 8 – Esquema da análise e discussão do caso 2, parte (1)	103
Figura 9 – Esquema da análise e discussão do caso 2, parte (2)	104
Figura 10 – Ação procedimental incorreta dos licenciandos L3, L9 e L10.....	105
Figura 11 – Esquema da análise e discussão do caso 3.....	107
Figura 12 – Sequência de gesticulações dos licenciandos	108
Figura 13 – Esquema da análise e discussão do caso 4.....	111
Figura 14 – Forma representacional imagética da reação entre $\text{Zn}_{(s)}$ e $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$	114
Figura 15 – Esquema da análise e discussão do caso 5, parte (1)	119
Figura 16 – Esquema da análise e discussão do caso 5, parte (2)	122
Figura 17 – Cálculo do pH teórico do HCl e CH_3COOH efetuado pelos licenciandos dos grupos A, B e D	124
Figura 18 – Esquema da análise e discussão do caso 5, parte (3)	129
Figura 19 – Forma representacional gráfica da curva de titulação ácido-base.....	130
Figura 20 – Gestos da professora e representações escritas no quadro	131
Figura 21 – Esquema da análise e discussão do caso 6.....	135
Figura 22 – Recorte da representação diagramática exibida na figura 3	142
Figura 23 – Esquema da análise e discussão do caso 7	146
Figura 24 – Gestos da professora P1 durante explicação para A17	149
Figura 25 – Leitura na bureta de 14,7 mL e 15,3 mL.....	150
Figura 26 – Esquema da análise e discussão do caso 8.....	153
Figura 27 – Dispositivo utilizado para detectar íons em solução	154
Figura 28 – Esquema da análise e discussão do caso 9.....	158

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modos e formas de representações	39
Quadro 2 – Exemplos de modos e formas representacionais no ensino de equilíbrio químico.....	39
Quadro 3 – Distribuição dos estudantes nos grupos	74
Quadro 4 – Atividades experimentais realizadas no laboratório de química	75
Quadro 5 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 1	76
Quadro 6 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 2	77
Quadro 7 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 3	78
Quadro 8 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 4	79
Quadro 9 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 5	80
Quadro 10 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 6	82
Quadro 11 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 7	83
Quadro 12 – Definição dos conceitos para análise dos dados	84
Quadro 13 – Sequência dos casos analisados.....	85
Quadro 14 – <i>Affordances</i> negativos em variadas formas representacionais e os casos analisados.....	159

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 SEMIOLOGIA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS	19
1.1 INTRODUÇÃO À SEMIOLOGIA.....	19
1.2 SIGNOS, SIGNIFICANTES E SIGNIFICADOS	22
1.3 MENSAGENS, SINAIS E INDICAÇÕES CIRCUNSTANCIAIS.....	26
1.4 OBJETOS COMO SIGNOS	31
2 MULTIMODOS E MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES	36
2.1 DEFINIÇÕES DOS TERMOS DA PERSPECTIVA DA MULTIMODALIDADE REPRESENTACIONAL	38
2.2 FUNÇÕES DAS MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES E AS COMPETÊNCIAS REPRESENTACIONAIS	42
2.3 MODO REPRESENTACIONAL ORAL EM DINÂMICAS DISCURSIVAS	45
2.4 MODO REPRESENTACIONAL GESTUAL	47
3 AFFORDANCES	51
3.1 NOÇÃO DE <i>AFFORDANCE</i> SEGUNDO JAMES J. GIBSON.....	51
3.1.1 Ramificações do Conceito <i>Affordances</i>	55
3.1.2 Conceitos de <i>Affordances</i> na Educação Científica.....	58
4 ARTICULAÇÃO DOS EIXOS TEÓRICOS E PROBLEMATIZAÇÃO DO ESTUDO	63
5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	70
5.1 NATUREZA DA PESQUISA E INSTRUMENTOS DE COLETA DADOS	70
5.2 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA PARA SUBMISSÃO DOS DADOS À ANÁLISE.....	72
5.3 ATIVIDADES DIDÁTICAS EXPERIMENTAIS.....	74
5.3.1 Atividade Experimental 1 – Equilíbrio Químico.....	76
5.3.2 Atividade Experimental 2 – Equilíbrio ácido-base	77
5.3.3 Atividade Experimental 3 – Equilíbrio Aquoso.....	78
5.3.4 Atividade Experimental 4 – Eletroquímica	79
5.3.5 Atividade Experimental 5 – Teste de solubilidade dos compostos orgânicos...80	

5.3.6 Atividade Experimental 6 – Técnicas de manuseio e leitura em instrumentos de medida	82
5.3.7 Atividade Experimental 7 – Ligações Químicas	82
5.4 INSTRUMENTO PARA ANÁLISE DOS DADOS.....	83
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	85
6.1 CASO 1 – EQUÍVOCO CONCEITUAL INFLUENCIADO POR <i>AFFORDANCE</i> NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO IMAGÉTICA E TEXTUAL	86
6.2 CASO 2 – EQUÍVOCO CONCEITUAL INFLUENCIADO POR <i>AFFORDANCE</i> NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA E VERBAL.....	93
6.3 CASO 3 – EQUÍVOCO PROCEDIMENTAL INFLUENCIADO POR <i>AFFORDANCE</i> NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO EXPERIMENTAL	104
6.4 CASO 4 – EQUÍVOCO PROCEDIMENTAL INFLUENCIADO POR <i>AFFORDANCE</i> NEGATIVO NO OBJETO.....	107
6.5 CASO 5 – EQUÍVOCOS CONCEITUAIS INFLUENCIADOS POR <i>AFFORDANCES</i> NEGATIVOS NA REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICO-MATEMÁTICA.....	112
6.6 CASO 6 – EQUÍVOCO CONCEITUAL INFLUENCIADO POR <i>AFFORDANCE</i> NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA.....	129
6.7 CASO 7 – EQUÍVOCO PROCEDIMENTAL INFLUENCIADO POR <i>AFFORDANCE</i> NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO DIAGRAMÁTICA.....	135
6.8 CASO 8 – EQUÍVOCO PROCEDIMENTAL INFLUENCIADO POR <i>AFFORDANCE</i> NEGATIVO NO OBJETO.....	147
6.9 CASO 9 – EQUÍVOCO CONCEITUAL INFLUENCIADO POR <i>AFFORDANCE</i> NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO EXPERIMENTAL E IMAGÉTICA	153
CONSIDERAÇÕES FINAIS	162
REFERÊNCIAS.....	165
APÊNDICES	174
APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	175
APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	177
APÊNDICE C – Ficha da Atividade Experimental 1	179
APÊNDICE D – Ficha da Atividade Experimental 2	180
APÊNDICE E – Ficha da Atividade Experimental 3	181

APÊNDICE F – Ficha da Atividade Experimental 4	182
APÊNDICE G – Leitura de texto para a Atividade Experimental 5.....	183
APÊNDICE H – Ficha da Atividade Experimental 7	185
APÊNDICE I – Aspectos gerais dos conteúdos abordados nas aulas	186

INTRODUÇÃO

Sob a ótica das abordagens construtivistas, pesquisadores da educação científica argumentam que o conceito de *affordances* apresenta contribuições significativas para o processo de ensino e de aprendizagem (FREDLUND; AIREY; LINDER, 2012; HAMMOND, 2010; HOBAN; NIELSEN, 2014; KIRSCHNER, 2002; KOZMA, 2003; KRESS, 2010; PRAIN; TYTLER, 2012; WU; PUNTAMBEKAR, 2012). No entanto, um levantamento bibliográfico em bancos de teses, dissertações e principais periódicos da área de ensino de ciências evidencia que a ideia de *affordances* é pouco pesquisada em âmbito nacional (GREGÓRIO; LABURÚ; ZÔMPERO, 2021). Diante disso, tendo como propósito contribuir para o contexto educacional científico, este estudo situa o conceito de *affordances* e seus desdobramentos como foco da investigação.

O termo *affordance* foi cunhado, originalmente, pelo psicólogo ecológico James Jerone Gibson, em 1966, para apontar a relação entre percepção visual e ação. Desse modo, a noção de *affordance* foi desenvolvida para entender como o sistema perceptivo conduz ao comportamento. Entretanto, em nosso contexto, digressões e articulações desse conceito fizeram-se necessárias, visto que a tese está comprometida com o ensino de ciências, e mais especificamente, com o ensino de química devido à ausência de estudos nesse campo. Fundamentalmente, o trabalho insere-se na linha de pesquisa que se preocupa com a transposição de referenciais teóricos dos estudos semiológicos para a educação científica. Por isso, para o desenvolvimento da leitura de *affordances* negativos, agregamos e unificamos conhecimentos teóricos de Volli (2012) e dos autores Laburú, Silva e Zômpero (2017) e Silva e Laburú (2017) que realizam uma transposição desse conceito embasada em referenciais da semiologia para o ensino de física. Por consequência, encaminhamos uma discussão que traz um olhar analítico diferenciado do elemento *affordances* negativos para abordar questões de aprendizagem dos conceitos e procedimentos durante instrução científica de química.

Como aprofundaremos à frente, *affordances* negativos são definidos como elementos sugestivos e indutores, intrínsecos aos signos, que convidam os aprendizes ao erro. De maneira geral, são tratados com o significado de reconhecimento imediato, associado a aspectos particulares das representações

sígnicas, que induzem os estudantes a frequentes equívocos conceituais e procedimentais. Motivados por essa orientação, analisamos os *affordances* negativos decorrentes da interação dos aprendizes com e sobre objetos físicos, artefatos, instrumentos científicos, atividades experimentais e diversos tipos de formas representacionais. Também, examinamos se os enganos estimulados por eles foram superados pela atuação de ensino, através da emissão sígnica de sinais e indicações circunstanciais (PRIETO, 1973).

Diante do exposto, o problema de pesquisa buscou identificar as incorreções conceituais e procedimentais cometidas pelos estudantes durante aprendizagem de química, influenciadas por *affordances* negativos. E, além dessa identificação, investigar os signos com função de sinal e indicação circunstancial, empregados no processo de interlocução entre professor e estudantes, responsáveis por redirecionar o raciocínio dos aprendizes à compreensão dos conceitos ou ao acerto dos procedimentos. Em outros termos, os problemas da pesquisa se resumem a duas questões: “*Quais equívocos conceituais e procedimentais, cometidos pelos estudantes durante aprendizagem de química, são influenciados por affordances negativos e, qual a natureza das representações sígnicas, emitidas no percurso de ensino, que encaminham os aprendizes à superação desses equívocos?*”. Tendo isso em foco, o objetivo do estudo tratou de identificar os *affordances* negativos dos signos e os equívocos conceituais e procedimentais instigados por eles na aprendizagem de química dos estudantes e, examinar a natureza das representações sígnicas mediadoras da ação discursiva, que levaram os aprendizes à superação dessas incorreções. A pesquisa tem como objetivos específicos, explicitar os fatores originários dos *affordances* negativos e caracterizar nas análises do discurso, os modos e formas representacionais dos signos, os tipos de atos sêmicos e o estado de compreensão dos estudantes durante as emissões sígnicas no ato da comunicação.

O trabalho se valeu de uma metodologia baseada na descrição detalhada da fala e gesto dos aprendizes na interação social em laboratório e na interação com representações sígnicas para perscrutar as suas interpretações e ações, influenciadas pelos *affordances* negativos. Para isso, conta-se que no momento instrucional esteja posta uma interação dialógica. Portanto, fez-se necessário que o professor empregasse abordagens educacionais que valorizassem dinâmicas discursivas nos momentos instrucionais. Também, para responder os

problemas da pesquisa utilizamos, principalmente, o laboratório didático. Isso porque, imersos nesse ambiente multimodal, os estudantes participam mais ativa e efetivamente do processo de aprendizagem, ao serem instigados pela curiosidade, descoberta e resolução de problemas.

Para resolver os problemas de pesquisa e atingir os objetivos propostos, a tese está estruturada em seis capítulos.

O desenvolvimento teórico está organizado em três capítulos: (1) Semiologia para o ensino de ciências, (2) Multimodos e Múltiplas Representações e (3) *Affordances*. No primeiro capítulo, iniciamos com uma descrição geral da semiologia, na qual introduzimos elementos teóricos pertinentes e direcionados aos interesses da pesquisa. Guiados por orientações de ordem semiológica da tradição europeia de Saussure, destacamos os conceitos de sinal e indicação circunstancial da teoria da comunicação de Prieto (1973). Por meio deles, estabelecemos as análises da interação discursiva entre emissor e receptor, a fim de compreender como os estudantes alcançam a correta compreensão do conhecimento científico ou da operação procedimental, após o cometimento dos equívocos. Na sequência, explicamos o conceito semiológico de “objeto” que guiou a leitura de *affordances* negativos. Vale ressaltar que há, inegavelmente, questões comuns e distinções na forma como abordamos os instrumentos semiológicos de diferentes tradições. Apesar do distanciamento dos pressupostos ideológicos dos semiólogos, estamos cientes dos ganhos com esse ecletismo teórico para abordar questões que envolvem a educação científica. No capítulo 2, discutimos reflexões da perspectiva da multimodalidade representacional, parte integrante da semiologia. Esse enquadramento foi realizado porque os equívocos de ações e significados dos aprendizes, estimulados pelos *affordances* negativos, são revelados por meio dos modos oral e gestual. Tendo isso em conta, abordamos aspectos teóricos das duas modalidades. Além disso, sintetizamos as principais contribuições dessa abordagem multimodal e multirepresentacional para o aprimoramento do ensino e aprendizagem dos conceitos científicos. Seguidamente, no capítulo 3, situamos e fazemos considerações pontuais a respeito da teoria dos *affordances*. Apresentamos discussões complementares do conceito dentro do contexto educacional. Para tal, discutimos o enfoque de artigos da área de ensino de ciências, os quais utilizam o conceito dos *affordances* como princípio norteador nos processos de ensino e de aprendizagem para evidenciar particularidades a respeito da temática.

Após essas discussões, narramos no capítulo 4, as articulações teóricas, a partir dos referenciais mencionados, para iniciar a apresentação da leitura de *affordances* negativos e problemática do estudo.

Depois disso, o capítulo 5 detalha o percurso teórico metodológico adotado para atender os objetivos do estudo. Aí é caracterizado o contexto e amostra da pesquisa para a obtenção das informações e são elencadas as atividades experimentais executadas. Também estão descritas a estratégia metodológica para a submissão dos dados ao procedimento de análise e o instrumento analítico.

No capítulo 6, da análise e discussão dos dados, examinamos casos de *affordances* negativos, explicitamos suas características e realizamos a análise do percurso de ensino adotado pelo professor para mostrar os tipos e funções das representações sígnicas reparadoras dos equívocos dos estudantes.

Nas considerações finais, são feitas ponderações gerais sobre os resultados obtidos. Implicações, problemas e sugestões que emergiram desta pesquisa foram incluídos com o intuito de fomentar investigações futuras acerca da temática.

1 SEMIOLOGIA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Como adiantado na Introdução, ao nos orientarmos por estudos da semiologia reunimos conceitos, diferentes entre si, com base em interpretações e reformulações de diversos semiólogos. O interesse pedagógico da pesquisa nos autoriza a uma maior liberdade interpretativa do rigor teórico dos conceitos semiológicos. Salientamos que, o compromisso da tese é transpor alguns elementos da semiologia embasados, principalmente, nos referenciais de Prieto (1973) e Volli (2012), tendo em vista a aplicação no campo da educação científica.

Seguindo essa pretensão de pesquisa, neste capítulo introduzimos a ideia central de semiologia e suas fontes de origem, explicamos o que são signos, fazemos referência à semiologia da comunicação por meio da obra Mensagens e Sinais, de Luis Jorge Prieto (1973), e Semiologia e Comunicação Linguística, de Eric Buysens (1974) e para fechar o capítulo, discutimos o objeto como signo, utilizando como aporte teórico a obra Manual de Semiótica, de Ugo Volli (2012), junto às ideias de Umberto Eco (2005; 2014). Vale destacar que, utilizamos o termo semiologia equivalente à semiótica, para designar a ciência dos signos.

1.1 INTRODUÇÃO À SEMIOLOGIA

A semiologia é a ciência geral dos signos. As reflexões desse campo de investigação têm origens bastante antigas que remontam à antiguidade grega (FIDALGO, 1998). Platão, Aristóteles, os pré-socráticos, os estoicos, Agostinho, a escolástica, além de toda a filosofia moderna, de Descartes em diante, já discutiam sobre signos e linguagem. No entanto, o estabelecimento contemporâneo da semiologia enquanto ciência se deu entre o final do século XVIII e o início do século XIX (VOLLI, 2012).

Charles Sanders Peirce (1839 - 1914) e Ferdinand de Saussure (1857 - 1913) são considerados os principais fundadores da moderna semiologia, isto porque as ideias foram lançadas simultaneamente no tempo (FIDALGO, 1998). Desse modo, é importante ressaltar a dupla origem dessa ciência, já que Peirce não tinha conhecimento dos trabalhos de Saussure, nem o contrário (FIDALGO; GRADIM, 2005). Por consequência, as correntes principais da semiologia contemporânea são duas: a estrutural ou gerativa e a interpretativa. A primeira se

reporta às ideias de Saussure e a segunda é desenvolvida, principalmente, sob o respaldo dos escritos de Peirce (VOLLI, 2012). Entretanto, de acordo com Santaella e Noth (2004), o desenvolvimento teórico da semiologia teve várias outras paternidades, dentre as quais se destacam Hjelmslev, Bakthin, Morris, Sebeok, Barthes, Greimas e Halliday. Esses pesquisadores se dedicaram à recuperação explicativa e comparativa do legado teórico da semiologia e às aplicações conceituais desse campo de pesquisa aos mais diversos fenômenos sógnicos.

A semiótica, sistematizada pelo norte-americano Peirce, tem por objeto de investigação todos os tipos possíveis de signos. Como disciplina filosófica e teoria científica, dispõe de conceitos e instrumentos que nos permitem descrever, analisar e interpretar a ação do signo (PEIRCE, 2017). Na visão peirceana, qualquer coisa que esteja presente à mente tem natureza sógnica. O universo está permeado de signos. Assim sendo, tudo pode ser um signo, basta alguma coisa estar no lugar de outra, isto é, representando algo, para alguém (SANTAELLA, 2012a; SANTAELLA, 2012b).

A tese fundamental de Peirce é a de que todo pensamento está nos signos e, por isso, a semiótica tem uma aplicação universal, pois abarca tudo o que há ao nosso redor, ou seja, todos os processos sógnicos na natureza e na cultura (FIDALGO; GRADIM, 2005; SANTAELLA, 2018; SANTAELLA; NOTH, 2004). Além disso, Peirce pretendia gerar uma fundamentação conceitual filosófica com o intuito de desenvolver uma teoria sógnica do conhecimento e que pudesse dar conta do mundo da experiência humana e garantir a sua comunicabilidade (FIDALGO; GRADIM, 2005). Como mencionam Santaella e Noth (2004), a noção peirceana da semiótica está enraizada em um processo comunicacional. A sistematização de algumas partes da pesquisa semiótica deixada por Peirce encontra-se reunida, principalmente, nos *Collected Papers* (CP)¹ e nas obras de Umberto Eco (VOLLI, 2012).

A outra fonte de desenvolvimento da semiologia germinou após o lançamento da obra “Curso de Linguística Geral”, publicada postumamente, em 1916. Ela foi compilada e editada por Charles Bally e Albert Sechehaye, a partir de anotações de estudantes que assistiram a três cursos proferidos pelo suíço Saussure, na Universidade de Genebra, entre 1906 e 1911 (FIDALGO; GRADIM,

¹ Os *Collected Papers* são manuscritos dos estudos de Peirce que se encontram no Departamento de Filosofia da Universidade de Harvard.

2005). Nessa perspectiva, a ciência dos signos é concebida como parte da psicologia social, a qual, pertence à psicologia geral, e como disciplina-mãe da linguística, uma ciência que trata principalmente dos signos linguísticos, um signo ao qual o homem se serve para comunicar (FIDALGO, 1998; VOLLI, 2012).

A noção de signo para Saussure tem sua gênese em um processo comunicativo em que o emissor transmite uma mensagem ao receptor. Ele batizou de semiologia a ciência da comunicação que estuda os signos na vida social. No entender de Saussure (2006), o signo é um artifício comunicativo que tem a função de representar algo que se pretende comunicar a outro ser.

É importante ressaltar que, apesar da teoria semiológica de Saussure ter se originado na Linguística, o estudo dos signos não envolve somente a linguagem oral ou escrita. Fora dessa linguagem, “há um vastíssimo campo de comunicações não verbais que estruturam a organização social e conferem coerência aos grupos de indivíduos” (FIDALGO; GRADIM, 2005, p. 131). Elementos como fotografias, filmes, gestos, emoções, expressões faciais e corporais, entre outros, compõem estudos dessa vertente (GODOY, 2016). A linha de estudos da semiologia de Saussure foi desenvolvida e ampliada por Hjelmslev e ganhou destaque com as obras de Buysens e Prieto (VOLLI, 2012).

Ambos os termos, semiótica da linha filosófica peirceana e semiologia da linguística saussuriana, são oriundos do grego *semeion*, que quer dizer signo (FIDALGO; GRADIM, 2005; SANTAELLA, 2012a). Para Fidalgo (1998), a principal diferença na terminologia é sistematizada no confronto entre os fundadores. Geralmente, o termo semiologia refere-se aos estudos que seguem a concepção de Saussure, distinguindo-se do termo semiótica para os trabalhos desenvolvidos por Peirce. Segundo Martinet² (1983 apud FIDALGO, 1998), a diferença reside na concepção de signo.

Para Saussure, o signo é uma entidade psíquica de duas faces indissociáveis composta pelo significante, imagem acústica, e significado, conceitos, que mais à frente são explicados. Em contrapartida, Peirce (2017) apresenta uma concepção triádica do signo que envolve os três correlatos: signo, objeto e interpretante. Para ele, o signo é qualquer coisa de qualquer espécie, um *representamen*, que representa outra coisa, chamada de objeto, e que produz um

² Jeanne Martinet, *Chaves para a Semiologia*, Lisboa: D.Quixote, 1983 (1974), p.159-160.

efeito interpretativo em uma mente real ou potencial, sendo esse efeito chamado de interpretante.

Todavia, ainda hoje, as informações são incipientes e divergentes quanto à definição do termo apropriado para designar essa ciência. Mas, como afirma Santaella (2012a), embora sob o mesmo nome – semiótica ou semiologia –, os estudos associados à tradição de Saussure são postulações bastante distintas da semiótica de Peirce e não se pode ocultar distinções dessas correntes semiológicas. Além disso, Fidalgo e Gradim (2005) alegam que nenhuma das duas vertentes pode reivindicar para si a exclusividade dos constructos teóricos desse campo de investigação.

Na seção seguinte, explicamos o que são signos. Abordamos, mais especificamente, elementos teóricos da semiologia de Saussure, porém não deixamos de abordar elementos da outra fonte de origem, a de Peirce.

1.2 SIGNOS, SIGNIFICANTES E SIGNIFICADOS

Segundo a vertente psicológica de Vygotsky, o acesso do homem à natureza nunca é direto e absoluto, mas mediado por signos que cumprem papel cognitivo, apoiam a linguagem, ampliam o pensamento e a capacidade de ação sobre o mundo exterior (OLIVEIRA, 1993). Eles conferem ao homem a possibilidade de pensar e agir sobre a realidade que o cerca, de expressar-se e comunicar-se (SANTAELLA, 2018).

Os signos são instrumentos imprescindíveis e intimamente ligados ao pensamento. São eles que tornam possível o desenvolvimento psíquico, a exemplo da abstração, memória, lógica, atenção voluntária entre outras operações superiores lógicas (HUSSERL, 1891 apud FIDALGO, 1998). Por meio dessas funções psíquicas, ocorre a internalização dos sistemas de signos produzidos culturalmente e, portanto, ligados ao processo de enculturação e aprendizagem do indivíduo (DRIVER et al., 1994; FREITAS, 1995). À vista disso, os signos alimentam a consciência individual, a qual, sem eles, não haveria qualquer vida espiritual superior, para não falar de ciência (HUSSERL, 1891 apud FIDALGO, 1998). Por consequência, como o homem só consegue pensar e viver em sociedade por meio de signos, e sendo cada pensamento um signo, só existe figura humana se houver

tais entidades semióticas (SANTAELLA, 2018). Eis aí a grandeza de nossa condição humana como seres simbólicos, inseparáveis do signo (SANTAELLA, 2012a).

Qualquer coisa que se produz na consciência tem caráter sígnico. No entanto, Peirce leva a noção de signo tão longe ao ponto de que um signo não necessariamente tenha de ser uma representação mental, mas pode ser uma ação, reação, ou mesmo uma mera emoção ou ainda qualquer tipo de sentimento (SANTAELLA, 2012a; SANTAELLA, 2018). Na concepção de Peirce (2017), o mundo não é feito de coisas de um lado e de signos, de outro, como se as coisas fossem materiais e os signos, imateriais. Um suspiro, um grito, uma música, um perfume, um livro, uma cor, um gesto e todos os fenômenos mais complexos que podemos imaginar, inclusive a imaginação que temos deles, todos funcionam como entidades sígnicas (SANTAELLA, 2012b).

Ainda sob a perspectiva de Peirce (2017), um signo está sempre encarnado, corporificado em alguma espécie de “coisa” que aparece à nossa mente. Nisso, Saussure está de acordo com Peirce quando afirma que toda coisa material é já para nós um signo, isto é, impressão que nós associamos a outra coisa (SAUSSURE, 2006). Ou seja, o signo possui uma materialidade que percebemos com um ou vários dos nossos sentidos, sendo possível vê-lo, senti-lo, ouvi-lo, tocá-lo ou, ainda, saboreá-lo (JOLY, 2004). Essas coisas de que nos apercebemos significam algo diferente e essa é a particularidade que os constituem como signos: “estar lá, presente, para designar ou significar outra coisa ausente” (JOLY, 2004, p. 35).

O signo consiste, inevitavelmente, em pensamento, independentemente de sua natureza, se manifesto por recurso material ou quando se apresenta à mente interior (SANTAELLA, 2018). Peirce (2017, p. 269) afirma que “toda vez que pensamos, temos presente na consciência algum sentimento, imagem, concepção ou outra representação que serve como signo”. Essencialmente, signo é aquilo que dá corpo ao pensamento e ao ser externado por meio de emoções, ações involuntárias, condutas, comportamentos, entre outras experiências, produz e transmite significados a outrem (SANTAELLA, 2018). Por outra forma, é uma entidade sígnica quando for capaz de exprimir ideias e suscitar no espírito daquele que o recebe uma atitude interpretativa (JOLY, 2004). Junto às ideias anteriores, conclui-se que tudo pode ser signo, pois a partir do momento em

que somos seres socializados, aprendemos a interpretar o mundo que nos rodeia (JOLY, 2004).

Há muitos tipos de signos e qualquer definição dessa entidade semiológica deverá ter em conta a multiplicidade de interpretações do termo signo, visto que a semiologia se trata de um campo plural e heteróclito de pesquisas e cada escola o define ao seu próprio modo (SANTAELLA; NOTH, 2004). É por esse motivo que Joly (2004) aponta que uma das tarefas do cientista semiólogo consiste em identificar categorias sógnicas e compreender se os diferentes tipos possuem especificidades e leis de organização próprias.

Uma das tipologias das classes de signos, fundamentais no campo da semiologia, trata-se da diferenciação entre signos comunicativos e expressivos encaminhada pelo italiano Umberto Eco (1985). Os comunicativos são emitidos, intencionalmente, com o fito de comunicar. Os expressivos são emitidos espontaneamente, oriundos da intuição, sendo reveladores de uma disposição e qualidades de espírito. Essa diferenciação engloba a distinção tradicional entre signos artificiais e naturais, pois, no entender de Eco (1985), todo signo natural é expressivo, mas a recíproca não é verdadeira, e todo signo artificial é comunicativo e vice-versa.

Os artificiais obedecem a regras e são emitidos conscientemente, com a intenção de comunicar. Por exemplo, quando um ator assume um andar afeminado e um jovem é capaz de falsear um sintoma de doença para ficar livre de uma obrigação. Esses signos estão codificados e podem ser intencionalmente assumidos como instrumentos sógnicos artificiais destinados a transmitir uma informação. Além disso, são situações de signos comunicativos, ainda que aparentemente sejam naturais (ECO, 1985). Os naturais provêm de uma fonte natural. Eles são emitidos espontaneamente, porém não são produzidos explicitamente para comunicar. Citamos como exemplos, os sintomas clínicos, a situação climática, a observação à primeira vista de um fenômeno inesperado de atividades experimentais, tremer de medo, corar de vergonha, ficar pálido, entre outros (ECO, 1985).

Na semiologia de Saussure, não se reserva o nome de signos às manifestações naturais ou não intencionais (GODOY, 2016). À vista disso, a semiologia da comunicação, que resulta da aplicação da proposta saussuriana, é

uma corrente teórica que compreende investigações sobre o ato intencional de transmissão de mensagens por meio de signos.

No modelo teórico de Saussure, o signo tem a função de representar algo que se pretende comunicar a outro ser, ou seja, ele é um instrumento elaborado para funções comunicativas. Logo, a comunicação se constitui numa multiplicidade de signos. O que trocamos e compartilhamos no ato comunicacional são signos de todos os mais diferentes tipos. Portanto, para que haja comunicação é preciso criar uma mensagem a partir de signos, pois não há mensagem sem eles e não há comunicação sem mensagem (FIDALGO; GRADIM, 2005; SANTAELLA, 2018).

O estudo central da semiologia da comunicação de Saussure volta-se para a compreensão do signo que consiste na relação indissociável entre o campo noético – significado – e o campo semático – significante – de uma mensagem. Mais precisamente, Saussure trata dos sinais, que são signos quando está envolvida a intencionalidade comunicativa.

Apoiado nessa corrente, Prieto (1973), um dos sucessores de Saussure na cátedra de linguística geral da Universidade de Genebra, define significado como um conjunto de possíveis conteúdos mentais singulares ou sentidos que o signo possa ter. Dito de outra maneira, significado é uma classe formada pelas operações que um determinado sinal executa, isto é, as mensagens que podem ser transmitidas por meio dele e que constituem sua utilidade. Por exemplo, todas as mensagens admitidas para o mesmo sinal “sentido”, no contexto militar, psicológico, sensorial ou no estudo da física, compõem seu significado (LABURÚ; SILVA; CAMARGO FILHO, 2021). O significante é uma classe abstrata correspondente ao conjunto inteiro dos possíveis sinais que lhe podem corresponder (VOLLI, 2012). Em outras palavras, um significante é uma classe de sinais que tem todos o mesmo significado (PRIETO, 1973). Uma mesma sentença escrita com letras distintas por pessoas diferentes exemplifica essa definição (LABURÚ; SILVA; CAMARGO FILHO, 2021).

No modelo bifacial do signo apresentado por Prieto, os seus componentes, o significante e o significado, são entidades abstratas, enquanto, ao contrário, os sinais e mensagens são, respectivamente, os significantes e os significados tornados concretos e perceptíveis (PRIETO, 1973). É por isso que, na comunicação, o emissor precisa consubstanciar um ideal de signo na forma representacional de sinal, para que o receptor o perceba e o identifique com um dos

seus sentidos para processar o entendimento da mensagem (LABURÚ; GODOY; ZÔMPERO, 2016). Sendo assim, em uma conversação, as pessoas devem ser capazes de selecionar e delimitar o significado e o significante do signo, por meio da mensagem e do sinal, de modo a atingirem o mútuo entendimento (PRIETO, 1973).

1.3 MENSAGENS, SINAIS E INDICAÇÕES CIRCUNSTANCIAIS

O ponto de partida da semiologia encontra-se em um princípio que afirma que é impossível não se comunicar (VOLLI, 2012). Como indivíduos sociais que somos, pelo fato de vivermos em sociedade, de estarmos em contato com outros, nos encontramos desde logo em comunicação (FIDALGO; GRADIM, 2005). “Cada pessoa, cada objeto, cada elemento natural ou artificial da nossa paisagem, cada força ou organização comunicam-se continuamente” (VOLLI, 2012, p.17). Comunicar significa difundir informação sobre si, apresentar-se ao mundo, ter um aspecto que é interpretado por outro indivíduo (VOLLI, 2012) e transmitir algo que está na sua mente para outrem entender.

Na relação social advinda da comunicação, as mensagens são transmitidas por meio de sinais do emissor ao receptor (PRIETO, 1973). Assim, a condição básica para a ocorrência da comunicação baseia-se na tríade: emissor, mensagem e receptor (SANTAELLA; NOTH, 2004).

Na dinâmica da comunicação, a transmissão da mensagem constitui a finalidade do ato sêmico, que ocorre quando o emissor possui uma intencionalidade em transmitir significados para obter uma colaboração, atender a uma necessidade ou dar a conhecer algo ao receptor (PRIETO, 1973; BUYSENS, 1974). Assim sendo, Prieto (1973) define ato sêmico como um índice intencional para a transmissão de mensagens do emissor para o receptor. Por essa razão, os índices naturais, como a fumaça para o fogo, a febre como sintoma de doença, o céu escuro que indica tempestade, entre outras situações, sem alguém para interpretá-los são simples fatos, privados de efeitos comunicativos. Isso porque, ainda que sejam passíveis de identificação e interpretação, não são intencionais.

Na comunicação, há um trabalho, por parte do emissor, para dar à mensagem um formato acessível ao receptor que deve reconstruir a intenção do primeiro, interpretar a mensagem, reagir a ela ou rejeitá-la (VOLLI, 2012). Portanto, na conversação, os sujeitos necessitam comunicar mensagens uns com os outros

por intermédio de sinais adequados para que o receptor perceba o propósito da intenção do emissor em transmitir-lhe uma mensagem (PRIETO, 1973). Por isso, a seleção dos sinais, determinada por uma intencionalidade, é fundamental para que as mensagens sejam inteligíveis ao intérprete (GODOY, 2016).

De acordo com as explicações anteriores, o modelo bifacial do signo apresentado por Prieto tem a seguinte associação: sinal com significante e mensagem com significado (GODOY, 2016). Os sinais são representações semióticas exteriorizadas por meio de um recurso perceptível, cujo objetivo é manifestar o significado do ato comunicativo e transmitir mensagens, enquanto a mensagem é um objeto material, substituto dos conteúdos mentais, que transportam os significados durante a comunicação (GODOY, 2016; VOLLI, 2012).

Segundo a teoria da comunicação de Prieto (1973), transmitir um sinal para comunicar mensagens significa estabelecer uma das categorias sociais no ato sêmico denominadas de informação, interrogação ou ordem. Ou seja, o emissor provoca o ato sêmico com finalidade de informar, interrogar ou ordenar alguma coisa ao receptor. Desse modo, para que esse ato seja bem-sucedido, os sujeitos a quem se destina a comunicação devem perceber, distinguir, selecionar e interpretar a mensagem e seu sinal correspondente entre todas as informações, perguntas e ordens imagináveis. Dito de outra forma, para que a comunicação se realize efetivamente é necessário que o receptor perceba o propósito que tem o emissor de transmitir-lhe uma mensagem determinada e identifique qual é essa mensagem. Isso porque o número de mensagens admitido por um sinal é praticamente infinito. Sendo assim, o sinal percebido e captado pelo receptor não basta para que ele atribua ao sinal à mensagem específica (PRIETO, 1973). Em todo processo comunicativo, é interessante destacar que não existe significado completo e finalizado atribuído ao sinal (BUYSSSENS, 1974). Além disso, para um determinado sinal há certas mensagens que ele admite e outras que ele exclui, isto é, mensagens que nunca seriam daquele sinal (PRIETO, 1973).

Diante dessas considerações, Prieto (1973) discute duas formas para determinar como o receptor seleciona a mensagem específica que ele atribui ao sinal. Primeiro, o sinal, pelo simples fato de ser produzido, indica ao receptor o propósito do emissor em transmitir-lhe uma mensagem. Segundo, no processo de interlocução, somos capazes de compartilhar compreensões semelhantes. O motivo de isso acontecer se deve ao fato de que há um conjunto de sinais culturalmente

pré-determinados a partir do qual os sujeitos conseguem decidir o que o interlocutor quer dizer (LABURÚ; GODOY; ZÔMPERO, 2016). Na base da transmissão comunicacional há um código comum, previamente estabelecido, capaz de associar as mesmas representações no emissor e no receptor (BUYSSSENS, 1974; FIDALGO; GRADIM, 2005). Os sinais, cujo significado é determinado por um código, exigem uma aprendizagem do indivíduo para a compreensão da mensagem. Dessa forma, um sinal não convencional é um sinal sem significado que obstaculiza a comunicação (GODOY, 2016).

Uma dimensão importante dos códigos nos sistemas sógnicos é a economia que representam no processo comunicacional (FIDALGO; GRADIM, 2005). Conforme Eco (2014), se tivéssemos que decifrar cada expressão do ato comunicativo, analisando elemento por elemento, a comunicação seria uma atividade fatigante. Por isso, na realidade, o receptor da mensagem está continuamente a antecipar as expressões de outrem, preenchendo os espaços vazios das falas, dos textos, prevendo ou pressupondo palavras que o interlocutor dirá ou que não deveria ter dito ou que nunca mesmo dirá (ECO, 2014).

Retomando a teoria da comunicação de Prieto (1973), a seleção de mensagens pelo receptor, dentre as várias que um sinal admite, é possível por efeito das indicações circunstanciais empregadas pelo emissor. Elas são instrumentos semióticos cuja função é especificar e reforçar a mensagem transmitida pelo sinal. Na emissão de indicações circunstanciais, o receptor consegue selecionar uma mensagem determinada para a qual atribui ao sinal, porque esse é produzido em relação às circunstâncias que o receptor deve reconhecer para a compreensão do significado da mensagem (GODOY; LABURÚ, 2021). Por circunstâncias, “deve-se entender todos os fatos conhecidos pelo receptor no momento em que o ato sógnico se verifica, e independentemente deste” (PRIETO, 1973, p.18). Elas devem ser delimitadas e reconhecidas pelo receptor para que ele selecione a mensagem do sinal como única entre os significados possíveis que possam ser atribuídos, ou seja, o receptor conclui que a mensagem que o emissor lhe transmite é, entre as várias mensagens admitidas pelo sinal, aquela que as circunstâncias favorecem mais (PRIETO, 1973). A título de ilustração, no ensino de química, podemos citar como exemplo, o sinal referente à palavra “equilíbrio”. Esse termo leva a diferentes mensagens, dependendo se o contexto pertencer ao campo conceitual do ensino de química ou do senso comum. De maneira geral, a situação contextual que

acompanha a produção do sinal é que determina a mensagem mais apurada do sinal e, conseqüentemente, leva o receptor à compreensão do ato sêmico.

A indicação propiciada pelas circunstâncias tem como intuito dissipar total ou parcialmente a incerteza da mensagem que o receptor atribui ao sinal comunicado pelo emissor (PRIETO, 1973). A condição indispensável para uma que uma indicação possa se verificar, é que haja certa incerteza quanto a um fato. Em relação a esse fato, é necessário que haja várias possibilidades entre as quais não se sabe qual a que se realiza efetivamente. Prieto (1973) dá o seguinte exemplo: quanto ao tempo que vai fazer amanhã, é possível que seja bom, mas também é possível que seja ruim, e não se sabe qual dessas possibilidades se realizará efetivamente. Contudo, se o céu está cinzento, entre as duas possibilidades, tempo bom e tempo ruim, é a última que se realizará. O conjunto de ambas as classes de possibilidades compõe o universo do discurso. Nesse caso, a indicação circunstancial proporcionada pela cor do céu dissipa a incerteza quanto ao tempo que vai fazer amanhã e, portanto, especifica a classe determinada do tempo ruim e não a de tempo bom.

De acordo com Laburú, Silva e Camargo Filho (2021, p. 36), “conseguir identificar a classe de possibilidades que se realizam no universo do discurso, significa identificar simultaneamente por oposição aquilo que não pertence a essa classe”. O índice, isto é, o fato que fornece a indicação, refere-se ao conjunto desse universo do discurso. É possível dividi-lo em duas classes complementares: uma positiva, constituída pelas possibilidades que se realiza; outra negativa, constituída pelas possibilidades que não se realiza. Da mesma forma, as circunstâncias, na qualidade de índice, dividem o universo do discurso constituído pelo significado do sinal, em duas classes complementares: a do sinal positivo, cujo único membro do universo do discurso é a mensagem admitida pelo sinal que as circunstâncias favorecem mais e, a de sinal negativo, composta por todas as outras mensagens admitidas pelo sinal. A indicação fornecida pelas circunstâncias delimita a mensagem que o emissor tenta transmitir. Tal mensagem é o único membro da classe que tem o sinal positivo. Enfim, para que a transmissão da mensagem se realize, é necessário que o receptor reconheça qual é essa mensagem. Assim, o ato sêmico termina com as indicações que as circunstâncias fornecem (PRIETO, 1973).

Uma vez que a semiologia da comunicação passa pelo estudo das relações sîgnicas, dos signos utilizados, dos códigos e convenções culturais em

vigor (FIDALGO; GRADIM, 2005), o significado da mensagem é algo que subsiste numa relação estrutural entre o emissor, a mensagem, o significado, o receptor e o contexto. Por isso dizemos que um significado não pode ser completo por si e nem ocorre isoladamente, mas se mantém dependente de diferentes fontes de informação e de um domínio contextual de experiências e significados sociais (JAIPAL, 2010).

A corrente filosófica pragmatista iniciada por Peirce prestou especial atenção à relação entre os signos e seus utilizadores. O pragmatismo peirceano entende que o significado dos elementos sînicos passa não só pela análise sintática e pela consideração dos valores semânticos, mas pelas condições contextuais e situacionais de seu emprego (FIDALGO; GRADIM, 2005). Isso significa que fora de um contexto o signo é inoperante (FIDALGO, 1998). As regras pragmáticas estabelecem as condições sob as quais o intérprete deve estar sujeito para que a mensagem de um sinal obtenha um sentido único dentre vários.

As experiências de conhecimentos e significados sociais de cada indivíduo podem diferir na apropriação e interpretação dos significados que as mensagens carregam e, por consequência, gerar interpretações distintas. Portanto, todo ato sêmico deve trazer consigo assunções sobre o que o destinatário deverá saber, tomando-as como base para ulterior interpretação (LABURÚ; GODOY; ZÔMPERO, 2016). Tal situação explica o motivo do ato sêmico se direcionar ao sucesso ou ao fracasso (PRIETO, 1973).

O ato sêmico é bem sucedido se há boa compreensão. Boa compreensão ocorre quando a mensagem que o emissor se propõe a transmitir é exatamente a mensagem que o receptor atribui ao sinal. Essencialmente, o sucesso de um ato sêmico é medido em termos de correspondência entre a intenção e a interpretação da mensagem (SANTAELLA; NOTH, 2004). No entanto, o ato sêmico nem sempre é bem sucedido (PRIETO, 1973). Há dois tipos de fracasso: a má compreensão e a não compreensão. O fracasso por má compreensão ocorre quando o emissor transmite uma mensagem e o receptor atribuiu ao sinal outra mensagem. O receptor não deixa de atribuir à mensagem um significado, mas ela não é precisamente a que o emissor desejou transmitir. O receptor compreende, mas não aquilo que o emissor queria que ele entendesse. Outra forma de fracasso sêmico se dá quando o receptor é incapaz de atribuir ao sinal uma mensagem determinada. Pelo fato de haver várias mensagens admitidas pelo sinal e igualmente

favorecidas pelas circunstâncias, o receptor não atribui mensagem alguma ao sinal transmitido, ocorrendo a não compreensão ou ambiguidade (PRIETO, 1973). A diferença entre as duas formas de fracasso se deve ao fato de que, na má compreensão, a incerteza do receptor desaparece totalmente, isto é, o receptor acredita identificar a mensagem que o emissor lhe transmite. Ao passo que, quando há não compreensão, a incerteza permanece (PRIETO, 1973).

O fracasso do ato sêmico pode resultar da falsa apreciação das circunstâncias pelo emissor, na qual o sinal atribuído ao receptor carrega uma mensagem com uma circunstância diferente da emitida pelo emissor. Assim, o fracasso pode ocorrer devido à discordância de circunstâncias reais com aquelas em que o emissor supõe serem inerentes para o receptor (LABURÚ; GODOY; ZÔMPERO, 2016). Para que esse compreenda a mensagem recebida como único membro do universo do discurso, é necessário que a indicação circunstancial seja significativa para ele. Caso contrário, a mensagem fica má compreendida ou não compreendida (LABURÚ; GODOY; ZÔMPERO, 2016). Por exemplo, em ambientes de ensino, os professores presumem que as mensagens dos sinais emitidos em relação aos conhecimentos científicos já sejam conhecidas por seus estudantes. Daí decorre que muitas informações são aprendidas de forma errônea logo, ocorre má compreensão (LABURÚ; GODOY; ZÔMPERO, 2016), pois o emissor acredita estar fornecendo um sinal, mas o receptor o recebe de outra forma, não havendo coerência entre as mensagens emitidas pelo emissor e as percebidas pelo receptor (PRIETO, 1973). Na prática, a determinação do significado é difícil e as diferenças no uso dos signos pelas pessoas, ainda que do mesmo grupo social, são bem distintas (LABURÚ; GODOY; ZÔMPERO, 2016).

1.4 OBJETOS COMO SIGNOS

Prieto (1973) admite que, existe comunicação intencional mesmo que o emissor esteja ausente. A julgar pelo exemplo em que esse planeja um objeto com uma intenção para alguém utilizá-lo. Segundo Volli (2012), no *design* dos objetos, o receptor acredita descobrir o sentido de alguma coisa, mas, na realidade, recebe uma comunicação cuidadosamente elaborada por um emissor. Por isso, afirma que é possível pensar toda comunicação como uma manipulação do ambiente feita pelo emissor, interessado em fazer com que alguém perceba certo

sentido ou significado.

O que designa os objetos, enquanto signos constitutivos de uma linguagem, é o fato de serem artefatos com a finalidade de significarem, ou seja, há subjacente a todos eles uma intenção significativa. Reconhecer os objetos como entidades semiológicas implica em conhecer os seus significados (FIDALGO; GRADIM, 2005). Por isso, as reflexões que seguem se detêm em discutir como os objetos são interpretados e usados sob o aspecto semiológico.

Ambas as perspectivas teóricas, a estrutural de Saussure e a de matriz interpretativa de Peirce, consideram as qualidades perceptivas e sinestésicas (forma, cor, dimensão, matéria, peso etc.) dos objetos para “descrevê-los como autênticos processos de significação que convidam a determinadas ações e comunicam certos valores em vez de outros” (VOLLI, 2012, p.193).

Na semiologia estrutural, os objetos são considerados como *textos*. Como tais, eles possuem uma dimensão narrativa para a pessoa com a qual ele interage (VOLLI, 2012). Narrativa porque compreende uma significação evidenciada em sequências de ações, gestos e comportamentos do sujeito, visando à utilização do objeto (SILVA; LABURÚ, 2017). Além disso, como qualquer texto, os objetos preveem um “usuário-modelo”, prescrevem e selecionam determinados comportamentos e atitudes. Em termos semiológicos, isso significa que os objetos exercem uma ação manipuladora na sua utilização, isto é, fazem com que o indivíduo realize uma ação específica (VOLLI, 2012).

A abordagem interpretativa, baseada no cognitivismo, também se orienta pela observação dos comportamentos dos usuários e das sequências de ações praticadas diante do uso dos objetos (VOLLI, 2012). Nesta posição teórica, os objetos são definidos como prótese ou interface. Como prótese, procura-se entender como o objeto funciona para ampliar o papel do corpo. Por exemplo, o martelo é uma prótese do punho fechado com o qual se bate. Como interface, perscruta-se a capacidade do objeto em comunicar a própria função, inclusive, para usuários inexperientes. Um objeto côncavo é uma interface que comunica a sua função, abrigar um líquido (VOLLI, 2012).

Conforme aponta Volli (2012), os objetos não são somente próteses, mas são interfaces que precisam comunicar a sua função a quem não está habituado. Isso é possível devido à “capacidade dos seres humanos de formular princípios de ações naturais, sobretudo do repertório dos objetos e das funções

comuns a certa cultura” (VOLLI, 2012, p.194). Para Eco (2005), a forma de um objeto denota a função somente com base num sistema de expectativas e hábitos adquiridos culturalmente. Ou seja, devido aos costumes e hábitos de experiências anteriores de convivência do agente com os objetos, aquele acaba por intuir e reconhecer as qualidades funcionais desses, determinando a interação entre ambos sem prévia explicação (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2017). A função de um objeto nada tem a ver com a semiologia da comunicação, mas o segundo aspecto, a comunicação da função, por meio da organização da interface, é aspecto substancial para a semiologia (ECO, 1974; ECO, 2005; VOLLI, 2012).

Ao aprofundar questões sobre a função e a comunicação da função de objetos de uso e arquitetônicos, Eco (2005) afirma que os objetos dizem como ser usados. Para o autor, as formas estimulam ou permitem uma dada função exatamente porque sugerem e, portanto, significa uma possível função (ECO, 2014). Ele alega que as tesouras não apenas cortam, mas dizem como serem manuseadas. A forma de uma cadeira não só permite como induz certas funções possíveis entre as quais a de sentar-se (ECO, 2014). Isso ocorre porque a própria configuração diferencial do objeto traz informações sobre as instruções de uso e são capazes de comunicar uma sintaxe de ação e, dessa forma, o modo como devem ser inseridos em uma prática (ECO, 2005). Para Eco (2014), há uma diferença quanto à especificidade semiótica entre a injunção “sente-se”, expressa verbalmente, e a forma da cadeira, mas ambos os casos são considerados sob perfil semiótico. Eco (2005) cita o seguinte exemplo: usar uma colher para levar o alimento à boca é a execução de uma função através do uso de um artefato que a permite e promove. Dizer que o artefato promove a função indica que ele assume uma função comunicacional, pois comunica a função a executar. Ao mesmo tempo, o fato de alguém usar a colher, aos olhos da sociedade que a observa, já se torna a comunicação de uma adequação sua a certos usos e não a outros, como o de levar o alimento à boca com as mãos, ou sorvendo-o diretamente do recipiente. A colher promove certo modo de comer e significa aquele modo de comer (ECO, 2005). É a esse sentido a que se refere Roland Barthes (2012) quando afirma que “a partir do momento em que existe sociedade, todo uso se converte em signo daquele uso” (BARTHES, 2012, p.53). Para ele, a significação dos objetos começa no momento em que eles são produzidos e consumidos pela sociedade.

Barthes (2012) denomina os signos de origem utilitária de funções-signos. Aliás, todo objeto enquanto objeto significa, pois não há objetos insignificantes na sociedade. A função-signo serve a Barthes para desenvolver uma semântica do objeto. Desse modo, ele torna signo toda a cultura e vida humanas. O alargamento semiológico efetuado por Barthes reside, principalmente, na introdução das funções-signos (FIDALGO, 1998).

A função-signo é a testemunha de um duplo movimento. Num primeiro momento, há uma fusão entre a função utilitária do objeto e o seu sentido. Por exemplo, o uso da capa de chuva é para se proteger da chuva, mas esse uso significa que chove. Num segundo momento, o objeto adquire outro sentido para além do sentido funcional que é da ordem da conotação. “Um casaco de peles, além de proteger do frio e de significar essa proteção, também tem um valor antropológico e social de significação” (FIDALGO, 1998, p.86). Uma cadeira diz que nela posso me sentar. Mas, se a cadeira for um trono, não deverá servir apenas para sentar, mas para fazer sentar com dignidade (ECO, 2005). Semelhante às ideias de Barthes, Eco (2005) distingue o processo de denotação de funções primeiras e o processo de conotação de funções segundas. O objeto pode denotar a função ou conotar certa ideologia da função.

Eco (2005) reconhece nos objetos a presença de um significante, observável e descritível, cujo significado, com base em códigos, é a função que ele lhe possibilita. Em síntese, a semiologia reconhece o objeto como signo, em que há presença de um significante cujo significado é a função que ele possibilita (ECO, 2005, p. 198). De fato, as características do objeto lhe delimitam a natureza de significante – comunicar a função possível – que denota o significado com base num código, mesmo que a função não seja executada nem se deseje executá-la. Portanto, os objetos comunicam até mesmo quando não usados (ECO, 2005). O fato de uma escada me estimular a subir nada tem a ver com a teoria da comunicação, mas se a escada apresenta determinadas características que lhe delimitam a natureza do significante, então se está diante de um dado semiológico, “independentemente do meu comportamento aparente e até de uma suposta reação mental de minha parte” (ECO, 2005, p. 196). Em outras palavras, uma escada consiste na articulação de alguns elementos morfológicos reconhecíveis, no seu complexo, como “máquina para subir”. Se for reconhecida como tal, a escada será usada. Porém, pode ser reconhecida sem ser usada. Isto é, o objeto escada

comunica a função possível “subir”, sem, contudo, realmente permiti-la. Isso significa que o aspecto comunicacional prevalece sobre o aspecto funcional, e o precede (ECO, 1974).

O princípio de que a configuração do objeto sugere a função significa “que a forma do objeto não só deve possibilitar a função, mas denotá-la tão claramente que a torne, além de manejável, desejável, orientando para os movimentos mais adequados à sua execução” (ECO, 2005, p. 200) conforme o planejamento do objeto. Mas vale ressaltar que a forma do objeto denota a função com base num sistema de expectativas e hábitos adquiridos e, portanto, segundo as precisas convenções culturais do indivíduo. Assim, o que permite o uso dos objetos não são apenas as funções possíveis, mas os significados culturais que os indivíduos dispõem para o uso funcional (ECO, 2005).

2 MULTIMODOS E MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES

As pesquisas em Multimodos e Múltiplas Representações compreendem investigações relacionadas ao uso variado, respectivamente, de modos e formas de representações no processo de construção do conhecimento científico. Nessa tradição, de orientação cognitivista, com inspiração na ciência semiológica, o entendimento conceitual é reforçado na medida em que os estudantes aprendem a construir, interpretar e reconhecer as ideias científicas a partir da combinação integrada de diferentes modos e formas representacionais e, conseqüentemente, de várias linguagens (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011; TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007). Essas linguagens são compostas por representações visuais, simbólico-matemáticas, experimentais, dentre outras empregadas no ensino de ciências (ZÔMPERO, 2012). Antes de adentrarmos as questões teóricas deste capítulo, esclarecemos o significado atribuído ao termo representação.

Representação é qualquer notação, signo, conjunto de símbolos que representam algum aspecto do mundo externo ou da imaginação na ausência do objeto (EYSENCK; KEANE, 1994). É classificada em interna e externa. As representações internas ou mentais são produções internas ao indivíduo. São ideias, crenças individuais, concepções, imagens, recordações ou sensações de um objeto, percebido ou imaginado, formadas na mente, particular de cada sujeito (GRECA, 2005). Assim, qualquer aspecto do pensamento como, perceber, raciocinar, imaginar, recordar, é expresso por representações mentais, cujo acesso é feito através de variadas formas de expressão (GRECA, 2005; LABURÚ; SILVA, 2011a).

Diferentemente, as representações externas ou semióticas são acessíveis a todos que compartilham o mesmo sistema semiótico, sendo, portanto, utilizadas para caracterizar o mundo, descrever um sistema, um processo ou um conjunto de fenômenos (DUVAL, 2006). Elas são produções externas encontradas sob variadas formas como, esquemas, expressões simbólicas, textos, gráficos, diagramas, figuras, experimentos, entre outras (EYSENCK; KEANE, 1994). Em particular, na química, os objetos são abstratos e não são diretamente perceptíveis, necessitando, para a sua apreensão, do uso dessas representações. Segundo Laburú e Silva (2011a), as representações semióticas têm valor de significantes, tal que seus sinais têm função de transmitir mensagens. Sendo assim, o significado das

palavras, conceitos, proposições, processos científicos, leis etc. se encontra incrustado nos elementos representacionais que formam o discurso. À vista disso, aprender é um ato de compor a totalidade do significado manifesta por um conjunto de representações semióticas.

A implementação da estratégia multimodal e multirepresentacional no contexto escolar tem sido defendida e amplamente documentada por pesquisadores da área da educação científica (AINSWORTH, 1999; AIREY; LINDER, 2009; LABURÚ; SILVA, 2011a; KRESS, 2010; KRESS et al., 2001; LEMKE, 2003; PRAIN; WALDRIP, 2006; TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007; WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006; 2010). Por meio desses trabalhos, sintetizamos as principais contribuições proporcionadas por essa abordagem de ensino para o aperfeiçoamento da aprendizagem.

Como veremos, educadores questionam a supremacia atribuída à linguagem oral na aquisição dos conhecimentos, trazendo argumentos a favor da importância da comunicação não-verbal em sala de aula (ARZARELLO et al., 2009; EDWARDS, 2009; KRESS et al., 2001; PADILHA; CARVALHO, 2008; PICCININI; MARTINS, 2004; RADFORD, 2009; ROTH, 2001; ROTH; LAWLESS, 2002). Esse tipo de comunicação inclui gestos, posturas, orientações do corpo, relação de distância entre indivíduos, organização de objetos, entre outros (CORRAZE, 1982). Nos trabalhos citados anteriormente, os autores sustentam que, em determinadas dinâmicas discursivas, nem sempre o modo falado é o mais adequado para a socialização do conteúdo (PADILHA; CARVALHO, 2008), sendo pouco compreensível na ausência dos gestos. Nesse direcionamento, várias perspectivas teóricas se esforçam para entender a dinâmica entre gesto e verbalização na apropriação dos significados (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015).

Diante do exposto, as reflexões que seguem estão organizadas da seguinte forma: iniciamos com as definições dos termos do campo da multimodalidade, discutimos as principais funções e as competências representacionais proporcionadas pelo emprego dos multimodos e múltiplas representações no processo de ensino e de aprendizagem e, por fim, explicitamos os potenciais dos modos representacionais oral e gestual na construção do pensamento científico dos estudantes.

2.1 DEFINIÇÕES DOS TERMOS DA PERSPECTIVA DA MULTIMODALIDADE REPRESENTACIONAL

Em inúmeras publicações, os termos “modos” e “formas de representações” são assumidos pelos autores com diferentes definições. Em razão disso, para clarificar o que estiver sendo exposto, delimitamos e explicamos as seguintes terminologias adotadas na tese: formas de representação; modo representacional; múltiplas representações e multimodalidade, multimodal ou multimodos.

Com relação à terminologia formas de representação, entendemos as várias linguagens utilizadas para expressar as representações semióticas ou rerepresentar um mesmo conceito de diferentes maneiras. Essas linguagens podem ser descritivas (verbal, textual, gráfica, tabular, diagramática, simbólico-matemática), experimentais, figurativas (pictórica, analógica e metafórica), cinestésicas ou de gestos corporais, além de incluir os objetos físicos, como artefatos, ferramentas, dispositivos de medição, objetos tridimensionais (3D) ou maquetes (LABURÚ; SILVA, 2011a).

O termo modo representacional é empregado conforme as ideias de Radford, Edwards e Arzarello (2009). Os autores qualificam os modos representacionais relacionando-os a recursos perceptivos, por meio dos quais as diversas formas de representação são pensadas, comunicadas ou executadas. Para eles, os modos são transmitidos e captados através dos nossos canais sensoriais e atividades perceptuo-motoras. Balizados por essa definição, consideramos os seguintes modos comumente usados em sala de aula: oral ou falado, visual corporal ou gestual e visual. O modo falado é mediado pelo movimento do ar através dos pulmões, laringe e boca e, portanto, requer a atividade motora dessas partes do corpo, bem como o uso do canal sensorial da audição (EDWARDS; ROBUTTI, 2014). O modo gestual é integrante da função sensorial tátil e o visual, do canal sensorial da visão.

Embasado nessas definições, no quadro 1, apresentamos a classificação dos modos e um conjunto de formas representacionais que pode ser expresso por meio deles.

Quadro 1 – Modos e formas de representações

Modo	Tipos de Formas Representacionais
Oral ou falado	Argumentações orais, Instruções, Interações verbais, Leitura de textos, Atos sêmicos
Visual Corporal ou Gestual	Pantomima, Mímicas, Manipulação de objetos, Movimentos corporais, Procedimentos, Operações experimentais
Visual	Análise microscópica, Animações, Atividades experimentais, Desenhos, Diagramas, Figuras, Filmes, Fotografia, Gráficos, Maquetes, Objetos 3D, Simulações, Tabelas, Vídeos, Textos escritos no livro didático, Produção escrita no papel

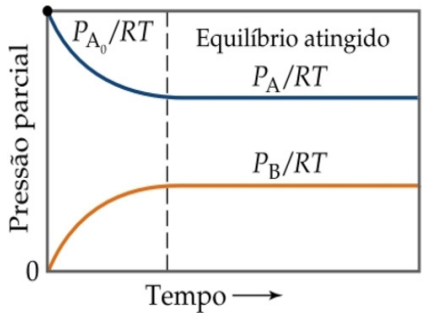
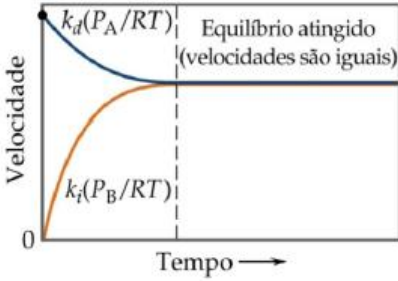
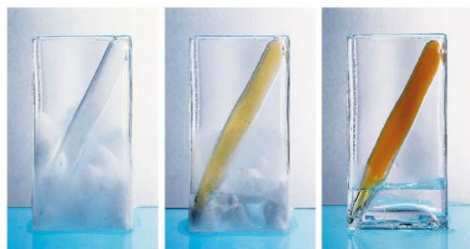
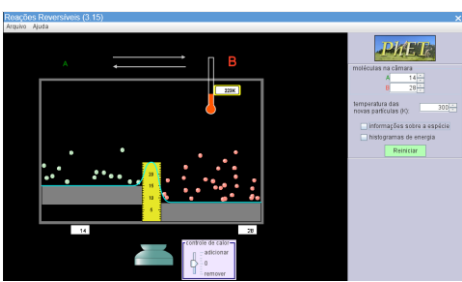
Fonte: Autores (2021)

Utilizamos o termo múltiplas representações segundo Prain e Waldrip (2006) e Tytler, Prain e Peterson (2007). De acordo com esses autores, a menção ao termo refere-se à prática de representar um mesmo conceito ou processo científico usando diferentes formas representacionais. Por fim, mencionamos os termos multimodalidade representacional, multimodal ou multimodos, conforme a definição de Prain e Waldrip (2006) e Tytler, Prain e Peterson (2007) para descrever a abordagem em que vários modos são empregados no discurso para representar os raciocínios, processos, descobertas e explicações científicas.

A título de esclarecimento, mostramos, no quadro 2, alguns modos e formas de representações que podem ser empregados para explicar o tópico de ensino “equilíbrio químico”.

Quadro 2 – Exemplos de modos e formas representacionais no ensino de equilíbrio químico

Modo Oral	Modo Oral e Visual
[Forma Representacional – Instrução oral]	[Forma Representacional – Leitura do texto escrito no quadro de giz]
A condição na qual as concentrações de todos os reagentes e produtos em um sistema fechado param de variar com o tempo é chamada de equilíbrio químico. (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).	O equilíbrio químico ocorre quando as reações opostas acontecem a velocidades iguais, isto é, a velocidade da reação direta é igual à velocidade da reação inversa (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Modo Gestual	Modo Visual
<p>[Forma Representacional – Atuação gestual]</p> <p>Encenação teatral dos estudantes do sistema da reação, na coluna ao lado, em situação de equilíbrio químico e, após perturbação com o aumento da temperatura.</p>	<p>[Forma Representacional – Equação química escrita no quadro de giz]</p> $\text{N}_{2(\text{g})} + 3\text{H}_{2(\text{g})} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(\text{g})} \quad \Delta H = -286 \text{ kJ/mol}$
Modo Visual	Modo Visual
<p>[Forma Representacional – Gráfico da pressão parcial <i>versus</i> tempo no livro didático]</p>  <p>(BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005, p. 533)</p>	<p>[Forma Representacional – Gráfico da velocidade <i>versus</i> tempo no livro didático]</p>  <p>(BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005, p. 533)</p>
Modo Visual	Modo Visual
<p>[Forma Representacional – Experimento do equilíbrio químico entre N₂O₄ (cinza) e NO₂ (vermelho)]</p>  <p>(BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005, p. 532)</p>	<p>[Forma Representacional – Simulação de Reações Reversíveis]</p>  <p>(PHET COLORADO – Imagem extraída da Simulação de Reações Reversíveis)³</p>

Fonte: Autores (2021)

No ensino de equilíbrio químico, o conceito é constituído apenas a partir da articulação dos modos com suas formas representacionais científicas. No quadro acima, vimos que a instrução oral é comunicada pelo modo falado, a leitura do texto no quadro de giz pelo oral e visual, a encenação teatral pelo gestual e, por fim, as imagens dos gráficos, a equação química escrita no quadro, a atividade

³ https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/reversible-reactions

experimental e a simulação, por meio do modo visual. Logo, depreende-se que a partir de um mesmo modo é possível expressar o conhecimento científico em diversas formas e vice-versa, uma forma pode ser expressa em vários modos. Para clarificar, diversos modos podem ser empregados para apresentar uma mesma forma gráfica cartesiana: numa tela dinâmica computacional pelo modo visual, gesticulado pelo modo gestual ou ditado oralmente pelo modo falado. Igualmente, um conceito pode ser comunicado pelo mesmo modo, por exemplo, visualizado em papel, mas na forma de registro algébrico, gráfico ou escrita em linguagem natural (LABURÚ; BARROS, SILVA, 2011).

Os modos assumem tarefas especializadas para dar significado às representações, ou seja, cada modo possibilita representar um mesmo conceito ou processo científico de maneira distinta, sem que isso seja redundante (RADFORD; BARDINI; SABENA, 2007). Sendo assim, os significados percebidos em um modo são entrelaçados e somados com os significados dos outros. Por conseguinte, a interação, integração e coordenação de multimodos leva os estudantes a um maior aprofundamento da compreensão conceitual, condição fundamental para a ultrapassagem de falhas ou lacunas na aprendizagem (PRAIN; WALDRIP, 2006).

Tal qual os modos, toda representação é cognitivamente parcial em relação ao que representa, isto é, cada representação se difere na maneira de significar um mesmo conceito (LABURÚ; ZÔMPERO; BARROS, 2013). Por esse motivo, a aprendizagem do conhecimento científico limitada a um único formato representativo torna-se frágil e limitada (AISNORTH, 1999; LABURÚ; ZÔMPERO; BARROS, 2013).

A linguagem científica é indissociável de suas representações simbólicas, posto que não é possível separar a forma de representar os conceitos daquilo que eles significam (LABURÚ; SILVA, 2011a; TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007; WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2010). Isso implica que o processo de aprendizagem dos conceitos na ciência está ligado à extração do significado imanente às várias formas representacionais, expressas em diversos modos (PRAIN; WALDRIP, 2006). Então, os estudantes precisam desenvolver um entendimento das diversas formas e modos de representar os conceitos, além de saber convertê-los e coordená-los em um discurso científico para o aprimoramento da aprendizagem (PRAIN; WALDRIP, 2006; TYTLER, PRAIN; PETERSON; 2007).

2.2 FUNÇÕES DAS MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES E AS COMPETÊNCIAS REPRESENTACIONAIS

De acordo com Ainsworth (1999), o uso de múltiplas representações, sustenta a aprendizagem de maneira significativa por cumprir três funções, a saber: papel complementar, restringir a interpretação e construir um entendimento profundo. O primeiro papel consiste em usar uma nova representação para retomar, confirmar ou reforçar conhecimentos passados ao fornecer informações ou apoiar processos cognitivos complementares a outras representações apropriadas. Um segundo emprego das múltiplas representações é conveniente para restringir possíveis interpretações impróprias de outra representação, ao limitar o foco do aprendiz sobre os conceitos fundamentais. Com relação ao terceiro motivo, Ainsworth (2006) afirma que uma pluralidade de formas representacionais pode ser utilizada para incentivar os estudantes a construir uma interpretação mais profunda dos conceitos científicos.

A esses três principais papéis, Laburú e Silva (2011a) acrescentam mais dois associados à individualidade, de ordem cognitiva e ao emocional, de dimensão subjetiva. Quanto à dimensão cognitiva, determinadas representações se adequam melhor a certos indivíduos, por servir-lhes de suporte apropriado para compreender um conceito, devido a terem subsumidos esquemas conceituais já construídos por eles. Em referência ao último motivo, os autores apontam que os aprendizes mantêm com o conhecimento uma relação de ordem emocional associada a comportamentos pessoais, atitudes, motivação e história de vida, própria ao estilo singular de aprendizagem.

Os dois últimos motivos conduzem à ideia de que a perspectiva da multimodalidade representacional é concernente com os princípios de uma prática plural de ensino por satisfazer distintos perfis individuais subjetivos e cognitivos (LABURÚ; CARVALHO, 2005; LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011). Por exemplo, alguns estudantes entendem o gráfico antes da fórmula, outros, a declaração verbal antes da matemática, alguns entendem a demonstração apenas integrada ao diagrama, e assim por diante (LEMKE, 2003). Conforme Gardner (2005), nem todos os indivíduos têm os mesmos interesses, habilidades e, não aprendem da mesma maneira. “Cada indivíduo possui capacidades intelectuais múltiplas com desempenhos e combinações relativas e contrastantes que caracterizam o seu perfil

próprio” (LABURÚ; SILVA, 2011a, p. 27). Dessa forma, a multiplicidade representacional oferece oportunidades intelectuais de acordo com as motivações e preferências para cada sujeito em relação ao modo de aprender (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011).

Embora vários autores reconheçam que a abordagem de ensino em multimodos e múltiplas representações atenda às diferenças individuais de afinidade com o conhecimento científico, é indispensável ressaltar que isso não significa manter fixo um estilo de aprendizagem particular para cada estudante (LABURÚ; SILVA, 2011a; PRAIN; WALDRIP, 2006; KLEIN, 2003). Acima de tudo, é vital que o professor torne explícito o conhecimento em diversos modos e representações para oportunizar a cada indivíduo envolver-se com o conteúdo de diferentes maneiras. Com isso, os distintos perfis individuais cognitivos e subjetivos têm mais chances de serem beneficiados para uma aprendizagem com maior significação (LABURÚ; SILVA, 2011a).

Por essas considerações, Ainsworth (2008) reúne algumas competências representacionais que podem ser promovidas ao envolver os estudantes com múltiplas variabilidades representacionais. São elas:

Compreender a forma representacional: A competência mais básica que os aprendizes devem desenvolver é compreender a forma de cada representação ou seja, suas convenções (códigos) de expressão e uso.

Compreender a relação entre a representação e o domínio do conhecimento científico: Os estudantes precisam ser capazes de entender como determinada representação se relaciona com o tópico específico do conhecimento que lhe está sendo ensinado, isto é, seu significado. Ou seja, é a velha relação significante-significado.

Selecionar uma representação apropriada: Algumas representações são mais propícias do que outras para representarem determinado aspecto do conceito científico. Por isso, os estudantes devem aprender a selecionar as formas representacionais mais adequadas para ilustrar ou expressar determinado conceito.

Entender como construir uma representação apropriada: Os estudantes precisam ser incitados a construir suas próprias representações, a fim de entenderem e discutirem quais aspectos e propriedades conceituais precisam ser enfatizados no *design* delas.

Compreender como relacionar representações: Para haver um profundo

entendimento conceitual, os estudantes devem compreender os vínculos entre os diferentes modos representacionais para coordená-las, integrá-las adequadamente e promover trocas entre as formas.

Ainda, nos interessa destacar alguns aspectos da competência “Compreender a forma representacional”.

Segundo Ainsworth (1999), entender como uma forma representacional codifica e apresenta as informações científicas é uma competência primordial que os estudantes precisam desenvolver para realçar a aprendizagem conceitual. Essa competência relaciona-se à capacidade dos estudantes em analisar as características das representações para que os seus significados subjacentes sejam elaborados.

Os cientistas são *designers* das representações, como diSessa (2004) sugeriu. Mais especificamente, no ensino de química, os cientistas inventaram linguagens simbólicas especializadas, como equações de reações, diagramas de estrutura molecular, gráficos, modelos de computador tridimensionais, entre outros sistemas simbólicos para representar os fenômenos complexos e abstratos (KOZMA; RUSSEL, 1997). As expressões simbólicas e os seus significados são completamente arbitrários. Ou seja, as características de uma representação não tem nenhuma correspondência direta com a entidade ou processo científico que representa (KOZMA, 2000), são abstrações. Logo, as representações convencionais da comunidade científica formam uma linguagem de códigos, regras e significados próprios que precisam ser aprendidos para o entendimento do conteúdo. Por essa razão, vários pesquisadores da educação científica investigam o que essas representações significam para os escolares e se os significados atribuídos por eles são consoantes com o que os cientistas pretendem (KOZMA, RUSSEL, 1997; KOZMA, 2000).

A pesquisa de Kozma e Russel (1997), no ensino de química, mostra explicitamente a relação entre compreensão e forma representacional. Os resultados do estudo indicam que os estudantes usam, principalmente, as características superficiais das formas das representações para apoiar e fazer explicações, reivindicações, inferências e previsões dos conceitos ou fenômenos químicos. Ou seja, o entendimento conceitual dos aprendizes é construído com base nos elementos de superfície – letras, números, linhas, cor – das expressões simbólicas. No entanto, para os autores, a compreensão conceitual associada às

características perceptivas das formas encobre obstáculos e falhas conceituais. Por isso, salientam que a interpretação dos estudantes, meramente associada à superficialidade das formas das representações, é um indicativo importante que deve ser detectado pelo professor a fim de redirecionar as ações cognitivas dos aprendizes ao entendimento correto e profundo dos conceitos.

2.3 MODO REPRESENTACIONAL ORAL EM DINÂMICAS DISCURSIVAS

Ensinar é, antes de tudo, um processo dialógico (LEMKE, 2003), o que legitima a predominância do modo oral em momentos de instrução. Portanto, a linguagem falada tem evidente primazia no ato comunicacional em sala de aula (LABURÚ; SILVA, 2011a). No entender de Lotman (1967, apud ECO, 2014, p.152), esse tipo de linguagem é “o sistema modelizante primário de que os demais são derivações”. Eco (2014) complementa que o linguajar verbal é a maneira mais adequada pela qual o sujeito traduz seus pensamentos e, devido à sua grande flexibilidade articulatória e combinatória, se sobressai aos demais sistemas semióticos. Isto porque, não apenas toda experiência humana, mas todo conteúdo exprimível por meio de outros modos, é passível de ser reduzido ou traduzido em termos orais, mesmo que o inverso não seja possível (ECO, 2014). O autor conclui que a linguagem verbal é o artifício semiótico mais poderoso que o homem conhece. Entretanto, admite que há conteúdos expressos por sistemas não verbais eficazes para atingir espaços semânticos nos quais a linguagem falada não é suficiente ou não alcança.

Na comunicação oral do professor, a prosódia, que consiste no estudo da variação e modulação da linguagem falada, é fundamental para um desempenho comunicativo eficaz em sala de aula. Segundo Azevedo et al (2014), os aspectos prosódicos da voz e fala – variação da frequência, da intensidade e da velocidade da fala, pausa silenciosa, prolongamento de segmentos e articulação exagerada etc – influenciam na efetividade da transmissão da mensagem. Nessa perspectiva, os autores salientam que os elementos prosódicos da fala têm importância central para a produção de significados e contribuem diretamente para a aprendizagem dos estudantes no instante da interação discursiva.

A linguagem natural medeia os demais sistemas semióticos, favorece a produção de novos significados, a verificação da compreensão do

conteúdo e a regulação do encaminhamento do pensamento dos estudantes (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011). Então, ao proporcionar que os aprendizes representem, em palavras, os seus pensamentos gerados por outros modos, “abre-se a possibilidade para que seus conhecimentos se coordenem, organizem, estruturem e se aprimorem” (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011, p. 483).

A análise do discurso científico é centrada na linguagem natural, por meio do qual os estudantes usam a fala para apresentar e reapresentar, uns aos outros, a compreensão dos conteúdos científicos (LABURÚ; SILVA; CAMARGO FILHO, 2021). Através desse modo semiótico, os aprendizes tornam explícitos, para eles próprios e para os demais, os significados que elaboraram, estando obrigados a mostrá-los (LABURÚ; SILVA; CAMARGO FILHO, 2021). Assim, a linguagem falada é substancial para a construção de significados.

No ensino de química, qualquer representação simbólica é capaz de ser comunicada em uma declaração verbal (KOZMA; RUSSEL, 1997). Lembremos a declaração de Lavoisier, em 1965: “Nós pensamos apenas por meio de palavras” (1965, p. Xiii, apud KOZMA; RUSSEL, 1997). Vygotsky (2007), igualmente, assume que a consciência humana é construída socialmente e seu desenvolvimento se dá durante as trocas sociais por meio da linguagem, com isso cria um vínculo entre pensamento e linguagem. Segundo Hoffmann (1995 apud KOZMA; RUSSEL, 1997), é a linguagem, e não os números, que torna a química um empreendimento particularmente humano e criativo. Conseqüentemente, falar e escrever sobre química são habilidades linguísticas essenciais para o desenvolvimento do pensamento científico.

Laburú e Silva (2011a) identificam cinco motivos que dão à linguagem oral característica preferencial. Primeiro, ela se apresenta como uma habilidade natural e espontânea do ser humano. Segundo, a verbalização é um instrumento de acompanhamento e avaliação da construção do conhecimento científico. Terceiro, por meio dela, correções de equívocos conceituais e preenchimento de lacunas de aprendizagem podem ser realizadas, pois possibilita ao professor diagnosticar e redirecionar a compreensão conceitual. Quarto, o domínio de diferentes representações é fundamentalmente mediado pela palavra. Por último, a fala tem a natureza dinâmica própria de mobilizar simultânea e coletivamente o compartilhamento da construção do conhecimento científico.

A maioria das atividades realizadas em sala de aula se vê

impregnada, particularmente, pela linguagem natural (LABURÚ; ZÔMPERO; BARROS, 2013). No entanto, sob a ótica da multimodalidade e múltiplas representações, é fundamental ultrapassar os limites privilegiados dessa linguagem no ensino e aprendizagem dos conceitos. Para Laburú, Zômpero e Barros (2013), o pensar, essencialmente, na forma verbal, não abrange todas as formas de pensamento científico e, quando complementado e auxiliado por outros modos representacionais, é capaz de estimular pedagogicamente a formação dos conceitos. Assim, para tornar-se ainda mais poderosa do que é, a linguagem natural deve valer-se da ajuda de outros sistemas semióticos (ECO, 2014) para potencializar aos estudantes uma aprendizagem com significado.

2.4 MODO REPRESENTACIONAL GESTUAL

Os gestos são exemplos de signos expressivos emitidos espontaneamente e de forma não intencional na relação emissor e receptor (ECO, 1985; LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015). Como entidades sógnicas, as mensagens transmitidas por eles são objetos de investigação de um ramo de estudos denominado Cinésica (RECTOR; TRINTA, 1990). Por meio dela, estudiosos decodificam e sistematizam as comunicações não verbais do movimento e sinais do corpo (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015).

Sob esse interesse, uma linha de investigação na educação científica, derivada do programa da multimodalidade representacional, reconhece que a aprendizagem dos conceitos passa pela atuação gestual e, por essa razão, dirige estudos para entender e explorar os significados difundidos pelo signo gestual na comunicação do discurso científico (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015). Nesse sentido, há um crescente reconhecimento de trabalhos que demonstram a importância dos gestos no ensino e aprendizagem (ARZARELLO et al., 2009; EDWARDS, 2009; KIM; ROTH; THOM, 2011; RADFORD, 2009; ROTH, 2001; ROTH; LAWLESS, 2002; ROTH, WELZEL, 2001).

Algumas perspectivas teóricas de estudos do corpo pertencem a uma longa tradição que entende o pensamento como uma atividade puramente mental, imaterial, impalpável, isolada do mundo físico, que ocorre independente do corpo e atua só na cabeça (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015). Todavia, trabalhos recentes da educação científica contestam essa visão tradicional ao inferir que fala e

gestos são componentes interdependentes da mesma fonte cognitiva e, juntos, refletem e facilitam a cognição (RADFORD, 2009).

A gestualidade, assim como as pausas, expressões do rosto, sutilezas do olhar e posições do corpo no espaço, assistem a linguagem oral e ajudam na compreensão daquilo que se diz (SANTAELLA, 1995; LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015). Com função auxiliar e complementar do discurso, os gestos facilitam o modo oral e substituem determinada palavra provisoriamente inacessível. Diante disso, educadores ressaltam a relevância dos gestos para esclarecimento dos pronunciamentos emitidos pelo professor ou estudante quando comunicam informações que a verbalização omite (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015). Ou seja, os gestos expressam entendimentos que a linguagem natural não seria eficiente para demonstrar o que se pretende expressar (KIM; ROTH; THOM, 2011).

A linguagem gestual é um instrumento simbólico da comunicação essencial para pensar, consolidar explicações, expressar ideias, comunicar e significar os conceitos envolvidos na atividade científica (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015; RADFORD; EDWARDS; ARZARELLO, 2009; ROTH; LAWLESS, 2002; KIM; ROTH; TOM, 2011; PEREIRA; MORTIMER; MORO, 2015). Em Kim, Roth, Thom (2011), os movimentos corporais dos aprendizes, mediante o modo gestual, são ações cognitivas que orientam e processam o pensamento, sendo componentes constitutivos para a construção conceitual. Em Radford, Edwards e Arzarello (2009), os gestos revelam aspectos do conteúdo mental ao mostrar os pensamentos internos. Com tal característica, funcionam como “janelas” de acesso ao pensamento (RADFORD, 2009). Em concordância com isso, Roth e Lawless (2002) afirmam que os gestos são um profundo traço da cognição e, então, mantêm relação com o pensamento de maneira indissociável. Dadas essas reflexões, conclui-se que as atividades corpóreas têm relevância cognitiva haja vista seu papel no aprimoramento do pensamento científico (LABURÚ; SILVA, ZÔMPERO, 2015). Destarte, pesquisas indicam que os gestos não se caracterizam apenas por sua natureza complementar e colaborativa na constituição do discurso, mas atua como artifício semiótico de apoio para que os pensamentos dos conceitos abstratos sejam construídos (LABURÚ; SILVA, ZÔMPERO, 2015).

Os termos gestos e gesticulações apresentam distintas concepções, entretanto, na área da educação científica não há preocupação em separá-los nitidamente (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015). A título de esclarecimento, a

gesticulação refere-se aos “gestos em ação”, ou seja, à ocorrência temporal de uma sequência de gestos instantâneos e fragmentados que se encadeiam e se interligam, formando e completando uma ação sobre o ambiente. Diferentemente, os gestos são estáticos, isolados e súbitos (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015). Contudo, nesta pesquisa, utilizamos o termo gestos indistintamente, com o sentido de abranger tanto os gestos em ação como os instantâneos.

Segundo Laburú, Silva e Zômpero (2015), a gesticulação sintetiza duas dimensões pedagógicas: uma, de natureza cognitiva, tendo em conta seu papel auxiliar na construção do pensamento e elaboração do significado dos conteúdos científicos e outra, de natureza avaliativa processual, pois permite ao professor analisar a apreensão dos conceitos em processo de construção ou construídos, pelos estudantes. Portanto, através dos gestos é possível àquele que ensina descobrir o que os estudantes estão aprendendo e, conseqüentemente, redirecionar e corrigir ações didáticas. Indo mais além, o modo de representação gestual também auxilia que várias ambigüidades e más interpretações, julgadas pelo professor a respeito do compreendido pelos aprendizes, sejam evitadas.

Em suma, as representações sígnicas gestuais subsidiam não só a elaboração intelectual dos conceitos científicos, mas permitem expressar e revelar os significados do que se está aprendendo no momento da instrução, ainda que palavras não sejam pronunciadas (LABURÚ, SILVA, ZÔMPERO, 2015).

De acordo com Vygotsky (2003), no fluxo do pensamento, nem a mão nem o intelecto prevalecem por si sós, mas estão circundados por instrumentos e ferramentas da linguagem construídas pelo ser humano, que os utiliza para o desenvolvimento da linguagem interiorizada e pensamento conceitual (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015). Nesse entendimento, a aprendizagem do conhecimento das ciências da natureza não se revela por uma mera leitura a respeito dos símbolos e princípios, mas surge igualmente das ações sobre o mundo natural e instrumentos tecnológicos (SALVADEGO, 2015). Apoiada na concepção vygotskyana, a modalidade representacional gestual em práticas experimentais tem relevante papel pedagógico na construção de significados científicos, sobretudo, no ensino e aprendizagem das ciências naturais (LABURÚ, SILVA, 2011b). Isso se deve ao fato de que, nas atividades empíricas, o modo gestual se apresenta de maneira proeminente, por meio de ações, movimentos corporais, procedimentos e manipulação com e sobre objetos, artefatos científicos e composição estrutural de

experimentos (LABURÚ; SILVA, 2011b).

Diante do que foi colocado, o laboratório didático é um espaço privilegiado de geração e estimulação do modo representacional gestual (LABURÚ; SILVA, 2011b). As atividades práticas proporcionam autênticas trocas ou passagens para o modo representacional oral e gestual, mediante o manejo de objetos, artefatos e observação de fenômenos científicos (SALVADEGO, 2015). Aliás, a vasta gama de atividades desenvolvidas em um laboratório didático permite que a estratégia instrucional multimodal e de múltiplas representações seja aplicada para a aprendizagem e refinamento dos procedimentos de coleta, processamento e comparação de dados experimentais (CAMARGO FILHO, 2014; LABURÚ, SILVA, ZÔMPERO, 2015).

Para complementar, Roth e Welzel (2001) apresentam três informações sobre a relação entre gestos, a manipulação de materiais concretos em experiências de laboratório e o discurso científico: primeiro, os gestos surgem das experiências no mundo fenomenal, expressam o conteúdo científico antes de os estudantes dominarem o tópico de ensino, isto é, os gestos têm um papel acessório na constituição do discurso científico, adiantando-se a ele quando os aprendizes demonstram pouco domínio a respeito do assunto. Segundo, os gestos fornecem um meio a partir do qual o discurso científico se apoia. Terceiro, os gestos fornecem o material que “cola” camadas de entidades perceptuais e conceitos abstratos, ou seja, os gestos dão suporte para o entendimento de abstratos conceitos, quando os estudantes manipulam objetos materiais (ROTH; WELZEL, 2001).

Dando fechamento, como proferido por Vygotsky (2003), da mesma forma que a linguagem está para o desenvolvimento do intelecto, gestos e ações atuam juntamente à verbalização para a elaboração do pensamento (LABURÚ, ZÔMPERO, BARROS, 2013). Daí que a articulação do modo oral e gestual permite que se construa uma totalidade mais inteligível do discurso e, portanto, melhora a percepção daquele que ensina acerca dos significados que estão sendo construídos pelos estudantes (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015). Isto é, a integração dos modos oral e gestual torna apurada a comunicação e nos auxilia a prever e antecipar os significados científicos assumidos pelos estudantes durante o momento instrucional.

3 AFFORDANCES

Neste capítulo, começamos por situar a teoria dos *affordances* com o aporte teórico das pesquisas de James Jerone Gibson (1979) e Donald Norman (1988) para dar legítimo crédito à origem do conceito. Reforçamos que a transposição para o ensino e aprendizagem de química impõe afastamentos dos sentidos originais dos autores, visto que a leitura didática do conceito de *affordances* negativos é acompanhada de considerações fundamentadas no cognitivismo e de estudos semiológicos como marco teórico.

A partir da apresentação das perspectivas teóricas de Gibson e Norman, expomos a definição de *affordances* do semiólogo Ugo Volli (2012), a qual norteia a constituição da proposta didática da pesquisa. Posteriormente, passamos a fazer discussões complementares dos *affordances* sob a ótica do contexto educacional. Abordamos alguns artigos científicos a respeito dos *affordances* publicados em periódicos pertencentes à área de ensino de ciências para evidenciar particularidades da temática. Ainda nesta parte, descrevemos a noção de *affordances* negativos de Laburú, Silva e Zômpero (2017) e Silva e Laburú (2017).

3.1 NOÇÃO DE *AFFORDANCE* SEGUNDO JAMES J. GIBSON

O conceito de *affordance*, proposto pelo psicólogo ecológico James J. Gibson em 1966, é um neologismo derivado da palavra inglesa *afford*, que significa proporcionar, oferecer e permitir. Em sua obra, *The Ecological Approach to Visual Perception*, publicada em 1979, Gibson, por meio de observações das interações específicas entre animais e o ecossistema, refinou o termo *affordance* para referir-se ao que “o ambiente oferece ao animal, o que ele provê ou fornece seja para o bem ou mal” (GIBSON, 1986, p.127). Para ele, *affordance* refere-se às possibilidades de ações que um ambiente proporciona ou convida a agir na interação do agente – animal/homem – com ele, de modo a apoiar ou permitir um comportamento específico (GIBSON, 1986).

Para o desenvolvimento da teoria de *affordances*, Gibson foi influenciado pela doutrina da *Gestalt*. No trabalho, *Principles of Gestalt Psychology*, publicado em 1935, o autor Kurt Koffka, principal representante da escola gestáltica, cunhou o termo “caráter de demanda” para justificar que cada coisa diz o que se

fazer com ela. Como por exemplo, uma cadeira diz “sente-se em mim”; o alimento “coma-me”; a bola “chute-me”; uma escada “suba em mim” (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2014). No entanto, essas ações valem para determinado grupo sócio-cultural. Uma bola para certos povos primitivos pode ser um elemento de adoração do Sol e nunca passar pela ação de chutar. A gênese do conceito também deriva das ideias do *gestaltista* Kurt Lewin, que, em 1936, usou o termo alemão “*Auffordrungscharakter*” para se referir ao “caráter de convite” ou “valência” com o objetivo de apontar que os objetos sugerem qual comportamento pode ser potencialmente realizado e como deve ser usado (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2014), em uma determinada cultura. Essas definições levaram Gibson a afirmar que o ambiente apresenta informações relevantes e significativas, captadas pelo sistema perceptivo, que coordenam, ativam e guiam as ações do agente de forma intuitiva e direta (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2014).

A reivindicação principal da psicologia ecológica de Gibson (1986) designa que o que os humanos ou animais percebem visualmente são *affordances*, possibilidades de ações que emergem da relação dinâmica do agente com o ambiente. Perceber *affordances* significa captar as informações disponíveis e significativas no ambiente que potencializam a realização da ação (GIBSON; PICK, 2000). Isto implica compreender que, durante a percepção pelo sistema visual, o agente capta diretamente *affordances*, os quais são comportamentos associados às características do ambiente que o cerca (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2006).

Na visão endossada por Gibson (1986), o ambiente é tudo aquilo que circunda o agente e é percebido por ele. O psicólogo considera que os elementos que constituem e envolvem o ambiente ecológico tal como meio, superfície, lugares, substâncias, objetos, animais e pessoas, apresentam diferentes *affordances*, possibilidades diferenciadas para a ação dos animais. “Superfícies possibilitam locomoção, alguns objetos possibilitam manuseio e outros animais possibilitam interações sociais” (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2006, p. 121). Diante disso, Gibson (1986) classifica os *affordances* em positivos e negativos para referir-se às propriedades das coisas, com referência a um observador, que possibilitam, respectivamente, benefícios e prejuízos. Por exemplo, alguns alimentos possibilitam nutrição para um determinado animal, caso de um *affordance* positivo, enquanto outros possibilitam envenenamento, ocorrência de um *affordance* negativo. É nesse sentido, de vantagens e desvantagens, proporcionadas pelo ambiente, que a teoria

de *affordances* positivos e negativos é discutida pelo psicólogo.

Gibson (1986) sugere que quando o agente percebe superfícies, objetos e animais, ele percebe *affordances* e não suas qualidades e propriedades. Aqui está a contribuição central da hipótese de Gibson (1986), de que o ambiente é carregado de significados oferecendo inúmeras oportunidades de ações. Para ele, os *affordances* mais ricos e elaborados são fornecidos pela interação entre pessoas, que fornecem reciprocidade, em níveis extremamente elevados de complexidade comportamental (GIBSON, 1986). Em uma interação social tudo depende da percepção do que a pessoa oferece, convida, incita, ameaça ou faz, ao outro indivíduo. As conversas, pausas, expressões faciais e gestos, fornecem informações, percebidas diretamente, as quais influenciam as ações sociais dos agentes (GREENO, 1994).

Um aspecto essencial do conceito *affordances* inclui necessariamente as características do agente e do ambiente. Desse modo, as possibilidades de ações oferecidas pelo meio, relacionam-se com a capacidade do sujeito de percebê-los e/ou usufruí-los. Ora, uma cadeira permite a ação de sentar para humanos ou macacos, mas não para jacarés (GREENO; GRESALFI, 2008). E ainda, o fato de um objeto ser, normalmente, utilizado para alguma finalidade, não significa que não possa ser utilizado para outro propósito. O atributo de uma cadeira expressa *affordances* no ato de sentar, mas ela também pode ser utilizada para suportar e/ou alcançar determinado objeto, entre outras inúmeras possibilidades. As diferenças de realização de ações são entendidas como uma dissonância entre os *affordances* oferecidos pelo meio e a capacidade dos indivíduos de percebê-los, que são subjetivos e idiossincráticos para os humanos (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2017). Dessa forma, a capacidade do agente em perceber diretamente *affordances* depende da experiência e cultura (MCGRENERE; HO, 2000), como já foi adiantado.

Outro aspecto fundamental da hipótese gibsoniana é que *affordances* são invariantes, o que implica afirmar que eles estão sempre presentes no ambiente, mas precisam ser reconhecidos e percebidos pelos indivíduos para serem captados. Os psicólogos da *Gestalt* afirmam que os *affordances* mudam de acordo com a necessidade do observador, mas no entender de Gibson, essa hipótese não procede. Em relação a esse ponto, afirma que nem sempre os *affordances* que estão disponíveis em um determinado ambiente serão realizados pelos sujeitos, pois depende da intencionalidade do agente em realizá-los. Isto é,

eles existem como oportunidades, o agente pode desejar ou não os utilizar (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2014). Por exemplo, uma caneta convida à ação de escrever, porém o reconhecimento desse *affordance* pelos indivíduos não implica necessariamente na ação para a qual convida.

Em suma, existem quatro propriedades fundamentais para o entendimento do conceito de *affordances* consoantes com os pressupostos de Gibson: i) *affordances* emergem da relação entre observador e ambiente; ii) sua existência independe da habilidade do agente em percebê-los; iii) eles não mudam conforme as necessidades e objetivos do indivíduo e iv) são relativos à capacidade de ação do agente em particular (MCGRENERE; HO, 2000).

Como ressaltado anteriormente, o sucesso de um dado comportamento reflete seu preciso envolvimento com o ambiente informativo, por meio da percepção sob o controle direto da visão (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2005). Há duas correntes antagônicas que se destacam nessa explicação. São as perspectivas ecológica e representacionista.

Gibson (1986), principal proponente da perspectiva ecológica, defende haver informações ricas e suficientes no ambiente que são percebidas diretamente por um observador, sem mecanismos mentais, pelo sistema visual e que especificam exclusivamente os *affordances*. Do seu ponto de vista, a relação do homem com o mundo envolve a captação direta deles, na qual não é necessária “a complementação de experiências passadas ou de operações mentais inatas” (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2014, p. 23) desafiando os teóricos representacionistas.

Com relação a essa questão, as principais críticas da teoria de *affordances* por cientistas cognitivos se fundamentam na ideia de que é necessário o apoio de inferências lógicas baseadas na memória para a percepção e, conseqüentemente, interação dinâmica com o ambiente (FODOR; PYLYSHYN, 1981; ULLMAN, 1980). Essas são suposições da vertente representacionista, na qual o mecanismo de inferências refere-se ao processamento de operações cognitivas para dar significado ao que se percebe, o que Gibson desconsidera. Em virtude disso, há vários pesquisadores da perspectiva cognitiva representacionista de processamento de informação que adaptam e criticam a definição gibsoniana de *affordances* (FODOR; PYLYSHYN, 1981; ULLMAN, 1980). Mais notavelmente, a posição dos críticos está centrada na suposição de que as informações que coletamos no mundo são processadas e reordenadas internamente. Assim, a

percepção de *affordances* é mediada por inferências que resultam da interpretação mental baseadas no conhecimento e experiências anteriores (OLIVEIRA; RODRIGUES, 2005; 2014).

Diferentemente de Gibson (1986), Peirce afirma que “todo conhecimento assume a forma de inferência, no sentido de que é sempre mediado por um raciocínio, nunca é simplesmente intuitivo” (apud VOLLI, 2012, p. 159). Isso é uma forma de dizer que não temos intuições imediatas, nem acesso direto às coisas que nos cercam, ao contrário, tudo aquilo que conhecemos sobre o mundo é resultado de um complexo raciocínio e, por consequência, mediado por signos (VOLLI, 2012; FIDALGO; GRADIM, 2005). Dado o viés semiológico da tese, este ponto de vista, em que as informações captadas do ambiente são analisadas e elaboradas por processos inferenciais, guiando as ações e pensamentos, é o adotado nesta pesquisa. Assim, consideramos que as consequências cognitivas e comportamentais não dependem apenas da percepção direta do mundo.

3.1.1 Ramificações do Conceito *Affordances*

Um conceito a destacar está relacionado com o *affordance* dos objetos, proposto por Donald Norman (1988). Ele introduziu o conceito no livro *Psychology of Everyday Things* e o ajustou para compreender a usabilidade e aplicabilidade de objetos de uso (MCGRENERE; HO, 2000). Norman (1988) deixa claro que se desvia da definição gibsoniana. Para o autor, *affordance* é um aspecto do *design* do objeto, que sugere para o usuário exatamente como ele deve ser utilizado (NORMAN, 1988). Dito de outra forma, Norman (2002) coloca que *affordances* referem-se principalmente as propriedades percebidas de um objeto, que fornecem pistas de como manuseá-lo. O autor argumenta que quando o *designer* planeja o objeto, estabelece *affordances*, a fim de fazer com que o usuário saiba como proceder, ao interagir com o objeto, do modo mais intuitivo possível. Logo, *affordance* sugere a ação a realizar.

Apesar da diferença entre as suposições teóricas trazidas por Norman (1988) e Gibson (1979), Norman estava interessado em como o ambiente pode ser emblemático e fisicamente projetado para que os *affordances* fossem percebidos e usados com facilidade pelos indivíduos. No entanto, muitos estudiosos apontaram ambiguidades nos escritos de Norman no que diz respeito a descrição de

affordances (MCGRENERE; HO, 2000). De um lado, viram que *affordances* referiam-se às próprias características de um objeto, de outro, *affordances* consistiam na possibilidade de ação tornada viável ao usuário devido ao *design* dos objetos, definição próxima a de Gibson.

Diante das críticas e do reconhecimento de que a concepção dos *affordances* precisava ser amplamente explorada, Norman, em 2008, no artigo “*Signifiers, Not Affordances*” criou o conceito de significantes, apropriando-se da ideia de *affordances* de trabalhos anteriores. O conceito estabelece indicadores no mundo físico que direcionam as ações dos usuários. Significantes são perceptíveis, são indicadores, sinais físicos ou sociais que podem ser criados ou interpretados significativamente pelos sujeitos. Significantes sociais são pistas que trazem evidências relevantes para atividades sociais e comportamentos apropriados.

Norman (2008) chama qualquer sugestão fisicamente perceptível de significante, seja acidental ou deliberada. Por exemplo, a agitação de uma bandeira ao vento é uma pista da direção e velocidade do vento, evidência não intencional, mas informativa ao observador. Segundo Norman, os *designers* precisam fornecer pistas nos objetos, que ofereçam orientação aos usuários. Ou seja, o que o *design* de um objeto deve oferecer são significantes. Norman sintetiza sua ideia com a seguinte orientação, “*Designers* do mundo: esqueça os *affordances*. Forneça significantes” (NORMAN, 2008, p. 19). No entanto, antes dessa retificação, o conceito de *affordances* já tinha avançado rapidamente no campo do *design* e na comunidade da interação humano-computador, o que gerou uma variedade de concepções acerca da aplicabilidade do conceito na literatura (MCGRENERE; HO, 2000). As teorias da semiologia que estudam a eficácia comunicativa dos objetos, também aplicaram concretamente a análise dos objetos feita por Norman em 1988, com base na linguagem da psicologia cognitiva, a partir da qual debates estimularam um amplo panorama de interrogações sobre o sentido, a significação e a comunicação dos objetos (ECO, 2005; VOLLI, 2012).

No livro “*Manuale di Semiotica*”, publicado em 2000 por Ugo Volli, se traz a definição de *affordances* do ponto de vista semiológico, mas que converge com a ideia dada por Norman em 1988 e que mais tarde foi substituída pelo conceito dos significantes em 2008. Para Volli (2012), *affordances* se referem às propriedades do objeto que especifica o agir de quem usa (VOLLI, 2012). São literalmente “convites ao uso” presentes nos objetos e se deve, principalmente, às

qualidades perceptivas e peculiaridades morfológicas, como cor, dimensão, forma, textura, entre outras propriedades que comunicam a sua função (VOLLI, 2012). *Affordances* funcionam como pistas que comunicam um possível uso para o usuário do objeto. Dito de outra forma, eles são uma qualidade diferencial específica do objeto, que indica como utilizá-lo. Para ilustrar, um recipiente côncavo é adequado para conter algo, um objeto ergonômico possui as marcas de uso previsto e antecipa a intervenção do corpo do usuário sobre o próprio objeto, uma maçaneta de uma porta informa se, para abri-la, é preciso puxá-la, empurrá-la ou girá-la (VOLLI, 2012). Portanto, os objetos apresentam configurações que fornecem ao usuário uma funcionalidade para determinado fim. Outro exemplo, em práticas de laboratório de química, o *affordance* da proveta – ou reconhecimento das características morfológicas como, material de vidro, transparente, forma e dimensão para conter líquido, escala em mililitro, bocal em bico adequado para verter líquidos – convida o usuário para a utilização pretendida, abrigar um líquido (LABURÚ; SILVA; CAMARGO FILHO, 2021).

Do ponto de vista da psicologia cognitivista, as características dos objetos que exercem e orientam ação manipuladora no seu emprego, isto é, fazem com que a ação seja encaminhada de determinada maneira, são chamadas de *affordances* (VOLLI, 2012). “Naturalmente, *affordances* podem comunicar de maneira adequada ou inadequada o uso correto de cada objeto” (VOLLI, 2012, p.194). Logo, uma má projeção comunicativa de objetos pode também ser capaz de suggestionar o seu uso de modo incorreto. Quer-se dizer com isso, que as incorreções não são exclusivas da incapacidade de quem os usa, mas podem ser causadas pelas qualidades perceptivas impróprias do objeto, que condicionam o agir do usuário de maneira equivocada. Conforme Volli (2012), tais qualidades geram semiose perceptiva, o que significa a ocorrência de significação por meio da percepção, diferentemente de Gibson.

Cabe enfatizar que, para Volli (2012), os *affordances* são características dos objetos que atuam para forçar determinado comportamento ou interpretação. Daí a pertinência semiótica ou a importância da eficácia comunicativa dos objetos, que tem a ver com a interpretação dada pelos usuários na interação com esses materiais, com base em suas características morfológicas e contextuais (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2017).

3.1.2 Conceitos de *Affordances* na Educação Científica

Apesar dos esforços para entender o significado e as implicações dos *affordances* em diversos campos de estudos, como na arquitetura, engenharia, psicologia, *design*, entre outros, estudos mostram que ainda não existe uma concordância conceitual e que há uma multiplicidade de interpretações quanto ao conceito (BURLAMAQUI; DONG, 2014; DE LAPLANTE, 2004; WU; PUNTAMBEKAR, 2012). Particularmente, no contexto das pesquisas em educação científica a ideia de *affordances* também possui diferentes significados e aplicações.

Com relação aos estudos da linha de pesquisa de tecnologias de informação e comunicação (TICs) no ensino de ciências, vários pesquisadores investigam como os *affordances* das TICs influenciam os estudantes na realização das atividades em ambientes de aprendizagem eletrônica (HAMMOND, 2010; HOBAN; NIELSEN, 2014; KIRSCHNER, 2002; KENNEWELL, 2001; PODOLEFSKY; PERKINS; ADAMS, 2010; WEBB, 2005). A título de exemplo, no trabalho de Hammond (2010), *affordances* são características inerentes das ferramentas que, devido ao seu *design*, convidam o sujeito a usá-las naturalmente, sem explicações prévias. Isto é, são compreendidos como propriedades intrínsecas das TICs, que na interação do sujeito com elas convidam-no ao uso imediato. Isso porque, segundo o autor, o *design* da ferramenta apresenta *affordances* que intervêm diretamente na forma como os estudantes vão interagir com o conteúdo e discutir os conceitos científicos. De maneira geral, nessa linha de investigação, a concepção de *affordances* é empregada para examinar as características das ferramentas tecnológicas que possibilitam certas atividades de ensino e atuação cognitiva dos aprendizes. Portanto, a maioria das discussões investiga como as TICs devem ser projetadas para que ações desejáveis dos aprendizes sejam efetivadas. Além disso, os autores concordam que os *affordances* das ferramentas digitais contribuem eficazmente para o comprometimento dos estudantes na realização de atividades que dificilmente seria suportado por materiais instrucionais tradicionais.

Dentro da perspectiva da multimodalidade na área da educação científica, destacamos estudos relevantes voltados à investigação de *affordances* para aprofundar a aprendizagem (AIREY; LINDER, 2009; KRESS et al., 2001; KRESS, 2010; PRAIN; TYTLER, 2012; FREDLUND; AIREY; LINDER, 2012). Estudos do Kress e colaboradores (2001), marcante para diversos trabalhos,

afirmam que os vários modos representacionais, oferecem diferentes *affordances*, diferentes possibilidades de representar, comunicar e compreender o conhecimento científico. No caso, cada característica própria de um modo de representação, corresponde às características peculiares do pensar. A suposição central dessa linha de pesquisa é que os *affordances* são potenciais comunicativos que os diversos modos semióticos carregam para a criação de significados. Derivam dessa discussão, por exemplo, os artigos dos pesquisadores Fredlund, Airey e Linder (2012) e Prain e Tytler (2012), na qual o conceito é empregado para destacar o papel que as diferentes representações desempenham na comunicação e no compartilhamento das ideias científicas.

Há estudos que discutem o significado de *affordances* como as possibilidades de ações que as inerentes estratégias de ensino ou sistemas representacionais oportunizam para os estudantes (CHICK; PIERCE, 2012; GRESALFI; BARNES; CROSS, 2012; KOZMA, 2003; TURPEN; DANCY; HENDERSON, 2016; WU; PUNTAMBEKAR, 2012). Em Gresalfi, Barnes e Cross (2012), *affordances* são entendidos como possibilidades de ações que o professor, por meio das estratégias didáticas e abordagens de ensino, oferece e proporciona aos estudantes. Aqui, eles estão relacionados com a organização dos trabalhos e atividades que os professores planejam para os aprendizes e que afetam significativamente o comprometimento deles na realização das tarefas e o modo pelo qual se engajam interativamente no processo de ensino e de aprendizagem. O trabalho de Gresalfi, Barnes e Cross (2012) clarifica como os *affordances* são usados para investigar a instrução na sala de aula. Ressaltam que a estrutura de uma tarefa com base em *affordances*, juntamente com a forma como a sua implementação é suportada pelo professor, propicia oportunidades de ações que induzem o estudante a determinados procedimentos e raciocínios. Daí que os *affordances* possibilitam formas específicas de engajamento cognitivo que podem promover ou obstaculizar a construção de significados pelos estudantes.

Na pesquisa realizada por Wu e Puntambekar (2012), as características das múltiplas representações que proporcionam interações desejáveis entre os estudantes são tratadas como *affordances*. O conceito é utilizado para compreender as possibilidades de ações que determinadas representações sígnicas, como símbolo, palavra, equação, gráfico, diagrama, entre outras, oferecem ao indivíduo, como formular questionamentos, planejar

investigações, analisar dados, construir explicações, entre outras ações. Nesse mesmo sentido, em particular, no ensino de química para onde convergem as atenções desta investigação, destaca-se o artigo de Kozma (2003). Nele se analisa as características das múltiplas representações e os seus *affordances* para apoiar a construção compartilhada do conhecimento pelos estudantes. *Affordances* aplicados às representações suportam pensamentos e interações sociais classificados pelo autor em *affordances* cognitivos e sociais, respectivamente. Ou seja, os *affordances* apresentam características representacionais específicas que moldam o pensamento, a fala e suportam as ações dos estudantes. Seus resultados mostram que o uso de um ambiente simbólico de química, aprimorado por tecnologia, juntamente com atividades de investigação no laboratório, fornecem *affordances* que apoiam a compreensão dos fenômenos científicos.

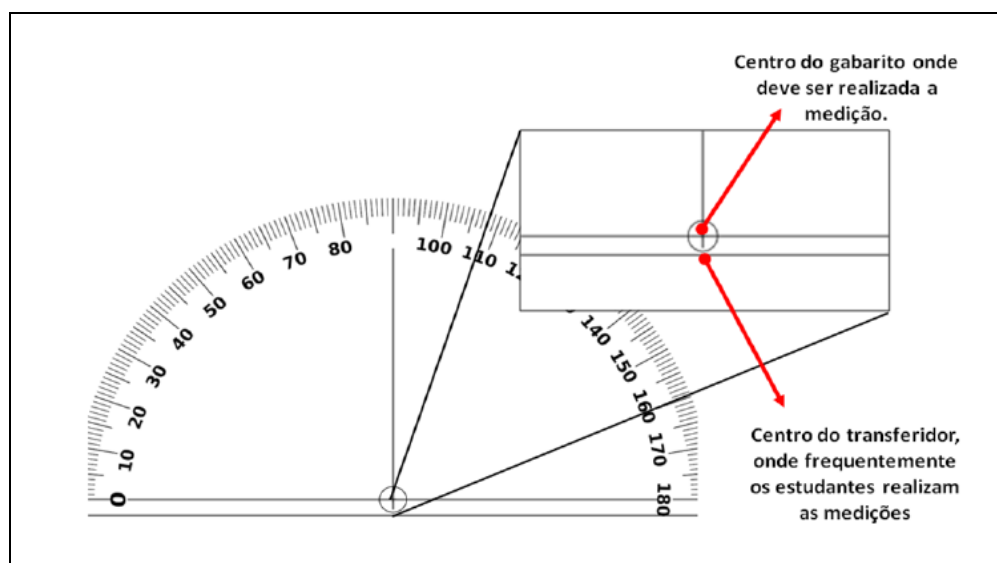
Os artigos científicos apresentados têm em comum o conceito de *affordances* como potencial para as práticas de ensino que valorizam o engajamento interativo dos estudantes em ambientes de aprendizagem. Como se pode ver, os trabalhos mencionados apresentam articulações e transposições teóricas do conceito original de *affordances*, com pretensões de ganhos instrucionais. O fato é que o entendimento do conceito é uma abordagem analítica promissora para as práticas de ensino que valorizam a participação ativa dos estudantes no processo de ensino e de aprendizagem.

No Brasil, as pesquisas de *affordances* na área de ensino de ciências são reduzidas (JANUÁRIO, 2017; JANUÁRIO; LIMA; MANRIQUE, 2017; JANUÁRIO; MANRIQUE; PIRES, 2018, LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2017; SANTOS, 2018; SILVA; LABURÚ, 2017; VERGENNES, 2020). Apesar disso, são os artigos nacionais de Laburú, Silva e Zômpero (2017) e Silva e Laburú (2017) que inspiraram a constituição da leitura didática desta pesquisa. Passemos a descrevê-los.

No primeiro artigo, com um sentido oposto e complementar à definição empregada por Volli (2012), Laburú, Silva e Zômpero (2017) utilizam o conceito de *affordances* negativos, conforme as características que o ambiente experimental pode oferecer ao estudante, mas tendo em vista gerar equívocos. Eles concluem que os equívocos persistentes e previsíveis se devem a inerentes particularidades morfológicas de construção dos objetos, que tendem a gerar interpretações incorretas de como utilizá-los. Como exemplo, os autores citam o uso

do transferidor, instrumento utilizado na medição de ângulos. A constatação do *affordance* negativo do objeto ocorre quando a medição é realizada. É comum os estudantes medirem os ângulos, a partir da parte plástica da base do transferidor em vez da linha 0-180 do gabarito, onde é o correto centro de giro, conforme mostra a figura 1.

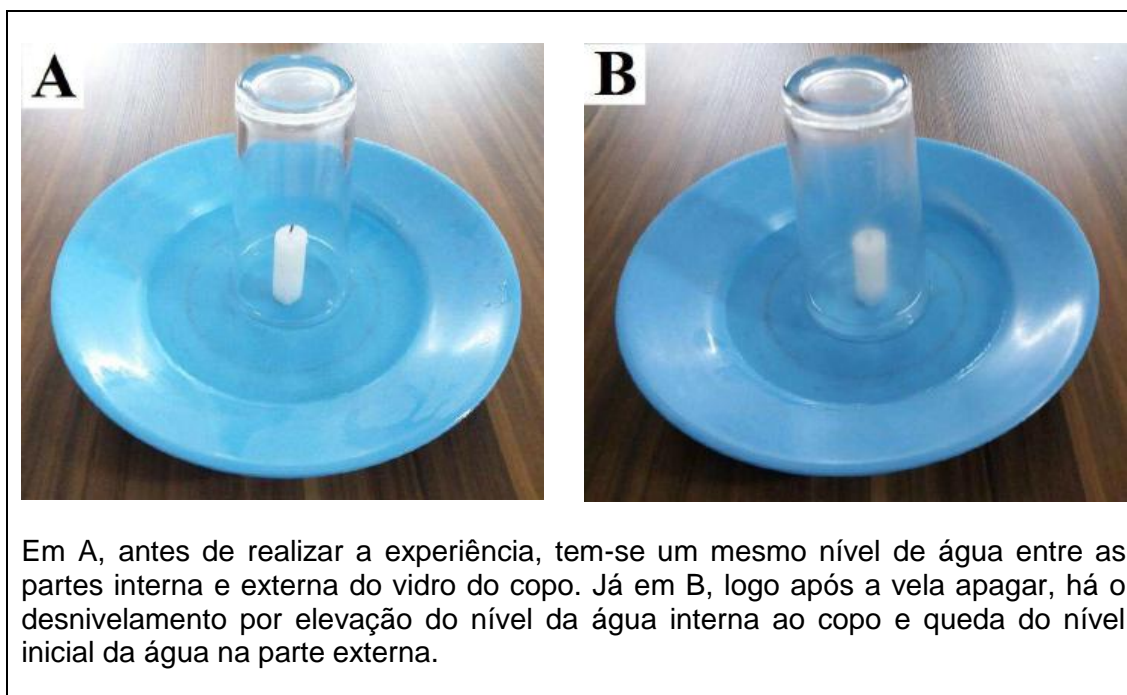
Figura 1 – Transferidor



Fonte: GREGÓRIO; LABURÚ, 2018

A construção morfológica desse tipo de transferidor convida os estudantes ao uso inapropriado do instrumento, logo, um caso de *affordance* negativo do objeto, haja vista que o *design* do equipamento direciona os estudantes ao uso equivocado (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2017). Portanto, o conceito é direcionado para um reconhecimento imediato e incorreto do estudante quando da sua interação com um objeto (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2017).

Em um segundo artigo, Silva e Laburú (2017) ampliam e refinam as discussões do artigo anterior ao afirmarem que os *affordances* negativos dos sistemas físicos, que incluem objetos científicos e atividades experimentais, originam equívocos conceituais e procedimentais. De acordo com os autores, os *affordances* negativos levam a suggestionar o agir e o pensar dos estudantes para entendimentos e procedimentos incorretos. Para demonstrar um caso de equívoco conceitual, Silva e Laburú (2017) abordam discussões de um experimento que consiste em apagar uma vela, sobre um prato com água, contida por meio de um frasco transparente, como mostra a figura 2.

Figura 2 – Experimento da vela

Fonte: Silva e Laburú (2017)

Silva e Laburú (2017) constatarem que a realização desse experimento, quase sempre conduz os estudantes à observação da chama da vela e não para o fenômeno de interesse pedagógico que consiste na elevação do nível de água no interior do frasco. Para os autores, a percepção visual imediata da vela apagada leva os estudantes a associarem esse fato ao consumo de oxigênio, uma concepção conceitual equivocada para a explicação do fenômeno físico ocorrido, relacionada ao conceito de pressão atmosférica. Dessa maneira, o *affordance* negativo do experimento se dá entorno das discussões da queima do oxigênio, devido à observação principal da vela apagada, que limitam uma associação com o conceito de pressão atmosférica, dificultando a atuação do professor na condução dos conceitos científicos adequados (SILVA; LABURÚ, 2017).

De forma resumida, em ambos os artigos, os autores buscam exemplificar uma leitura pedagógica a fim de entender o surgimento espontâneo de cometimentos de erros de aprendizagem quando os estudantes manuseiam instrumentos de laboratório e/ou quando se deparam com demonstrações de fenômenos naturais.

4 ARTICULAÇÃO DOS EIXOS TEÓRICOS E PROBLEMATIZAÇÃO DO ESTUDO

Apoiados nos referenciais teóricos que compõe a pesquisa, dá-se início, a apresentação da leitura didática e problemática do estudo. No decorrer da exposição, articulamos e sintetizamos as principais ideias, abordadas ao longo dos capítulos anteriores, que norteiam a constituição da leitura de *affordances* negativos e subsidiam os problemas de pesquisa.

No primeiro capítulo de semiologia para o ensino de ciências, explicamos o processo da comunicação, decorrente da relação emissor e receptor, em conformidade com as teorias da comunicação de Prieto (1973) e Buysens (1974). Por meio delas, Godoy (2016) e Laburú, Godoy e Zômpero (2016) propõem uma transposição dos conceitos de signos com função de sinal e “indicação circunstancial”, adequados à educação científica. No entender desses autores, sinais são signos que apontam explicita e objetivamente as mensagens comunicadas na ação discursiva. São representações semióticas, exteriorizadas por recursos perceptíveis, para levar mensagens “de maneira imediata, aberta e sem rodeios durante a interlocução com os estudantes” (LABURÚ; GODOY; ZÔMPERO, 2016, p. 42).

Numa interação dialógica todo sinal transmitido é incompleto, devido ao fato de que um sinal admite inúmeras mensagens. Por isso, Laburú, Godoy e Zômpero (2016) argumentam a respeito da possibilidade de se refinar a significação, no sentido pretendido da mensagem, por recorrência a outros elementos comunicativos, como as indicações circunstanciais. Em contraste com os sinais, as indicações circunstanciais são signos que potencializam a reflexão do estudante rumo à apropriação da mensagem científica intencionada pelo professor. Elas atuam na composição discursiva de modo indireto e enviesado e evitam a informação imediata, pronta e acabada, para que o estudante autonomamente refine a mensagem do sinal sob compreensão (GODOY; LABURÚ, 2021). Ao fazer uso desse signo no processo de interlocução, o professor subsidia e consolida a insuficiência do sinal e de seu contexto, com a finalidade de complementar, esclarecer e delimitar a mensagem que está sendo transmitida (LABURÚ; SILVA; CAMARGO FILHO, 2021).

Os signos, classificados em sinais e indicações circunstanciais, se fazem consolidados nas mais variadas formas representacionais como, por exemplo,

na forma verbal, gestual, figurativa, matemática, modelos, maquetes, representação 3D entre outras. Por isso, um encaminhamento didático que faz uso de múltiplas representações busca auxiliar os estudantes a complementar, corrigir, aprofundar, combinar, integrar e coordenar os significados das mensagens. Assim, a composição discursiva no processo educativo depende da emissão de signos com a integração de diferentes formas representacionais para potencializar ou reforçar a apreensão do significado específico da mensagem científica. Em razão do exposto, Laburú, Silva e Camargo Filho (2021) enfatizam a importância da troca de mensagens e compartilhamento de significados científicos por meio de articulações sógnicas e atos sêmicos variados. Como explicado no capítulo 1, as categorias sociais do ato sêmico são denominadas de informação, interrogação ou ordem. A categoria social *informação* informa o receptor de alguma coisa, a categoria social *interrogação* compreende perguntas para interrogá-lo sobre algo e a categoria *ordem* abarca diretrizes e ordens para o receptor cumprir.

Com base na explanação feita a respeito dos signos emitidos durante interação discursiva, a transmissão de sinais pelo professor volta-se para um processo de ensino e aprendizagem que minimiza a participação ativa do aprendiz na construção do conhecimento científico. Ao contrário, a emissão de indicações circunstanciais leva em conta uma forma de pensamento reflexivo do estudante para a apreensão dos significados das mensagens. Enfim, em coerência com os autores Laburú, Godoy e Zômpero (2016) e Godoy (2016), é na associação entre sinais e indicações circunstanciais que os significados do discurso científico vão sendo aprofundados pelos aprendizes. Balizados pela leitura didática desses pesquisadores da obra de Prieto (1973), estabelecemos a análise do percurso comunicativo adotado pelo emissor para levar precisão ao significado da mensagem, transmitida ao receptor, por intermédio dos sinais e “indicações circunstanciais”.

É importante ressaltar que, num processo de interação dialógica, professor e estudante não assumem exclusivamente o papel de emissor e receptor, respectivamente. Ambos trocam de forma recíproca os diferentes papéis. Nessa direção, também esclarecemos que, o significado do termo “transmissão da mensagem”, sob o ponto de vista de Prieto (1973), não possui conotação com o ensino tradicional pautado na exclusividade da transmissão verbal pelo professor. Este trabalho leva em consideração o protagonismo do aprendiz na atribuição dos significados que estão sendo construídos e a mediação do professor, ora como

emissor, ora como receptor da mensagem.

Estudos da perspectiva sócio-construtivista investigam e teorizam o papel das ferramentas elaboradas pelo homem, bem como objetos concretos e simbólicos da cultura, no processo de ensino e de aprendizagem (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2017). Motivados pelo interesse comunicacional dos objetos no contexto educacional científico, situamos na seção 1.4, o conceito semiológico de “objeto” enquanto signo constitutivo de linguagem.

De acordo com Eco (2005), os objetos dizem como ser usados devido às suas características morfológicas. Essa concepção é consonante com a ideia de *affordances* proposta, mais tarde, por Volli (2012). Como discutido no capítulo 3, seção 3.1.1, Volli (2012) denomina de *affordances* as qualidades perceptivas e peculiaridades morfológicas, inerentes aos objetos, que comunicam e sugerem a sua função. O autor aponta que os objetos parecem vir rotulados, segundo a sua aparência e providos com instruções de uso. De imediato, vemos coisas que nos cercam e seus respectivos comportamentos, segundo determinados atributos dos objetos. Dessa forma, segundo a semiologia, o conceito de *affordances* está relacionado com a eficácia comunicativa dos objetos, isto é, com a capacidade que as coisas possuem de indicar o seu uso.

Retomamos aqui que, Laburú, Silva e Zômpero (2017) e Silva e Laburú (2017) se apropriam da ideia de Volli (2012), porém atribuem significado oposto, na intenção de adequar o conceito de *affordances* para situações de ensino e de aprendizagem. Os pesquisadores desenvolvem uma leitura de *affordances* negativos voltada a atividades de investigação de física. Laburú, Silva e Zômpero (2017) ressaltam que *affordances* negativos são indicações enganosas, inerentes aos objetos ou demonstrações experimentais, que sugestionam e remetem os estudantes ao erro. Num sentido complementar, em Silva e Laburú (2017), o conceito de *affordances* negativos é tratado segundo o significado de reconhecimento que os estudantes atribuem a um objeto em interação com eles, o que gera frequentes equívocos de conceitos e procedimentos.

Resumidamente, em ambos os artigos, *affordances* negativos se referem às propriedades significativas das composições experimentais e dos objetos que, por consequência de seus *designs*, convidam o usuário-estudante ao erro. Diante disso, os autores concluem que muitas incompreensões comuns e manipulações enganosas dos usuários são influenciadas pelos *affordances*

negativos. Ora, esses artigos chamaram atenção para este estudo para uma possível transposição para o ensino de química. Devido a esses motivos, entre todas as acepções possíveis do conceito, elaborado originalmente por Gibson, o trabalho se apropriou do conceito semiológico de *affordances* de Volli (2012) e da ideia de *affordances* negativos de Laború, Silva e Zômpero (2017) e Silva e Laború (2017), com vistas a atender especificidades do ensino e aprendizagem de química.

Como foi colocado anteriormente, Laború, Silva e Zômpero (2017) e Silva e Laború (2017) investigam *affordances* negativos de objetos e demonstrações experimentais. Neste estudo, ampliamos a proposta para diferentes representações semióticas. Para isso, congregamos as noções dos referenciais mencionados com o objetivo de identificar os *affordances* negativos além dos objetos físicos e atividades experimentais para as mais variadas formas de representação, tais como figuras, desenhos, diagramas, gráficos, entre outras. Defendemos que, da mesma forma que objetos convidam aprendizes ao cometimento de equívocos, devido à presença de *affordances* negativos, diferentes representações também podem estimular erros frequentes. Portanto, esta investigação expande a ideia de *affordances* negativos para além de objetos e atividades experimentais.

Dentro do que pretendemos, *affordances* negativos referem-se às características diferenciais ou propriedades específicas dos signos que funcionam como artifícios indutores de incompreensões, por parte dos aprendizes, segundo as dimensões conceituais e manipulativas. De outra forma, são provocadores potenciais de erros de operacionalização ou concepções conceituais distorcidas dos aprendizes. Isto porque qualquer signo pode possuir *affordances* negativos, cujas características convidam, por indícios ou pistas perceptivas, ao engano. Tais características canalizam e limitam de imediato a atenção dos estudantes para que determinado procedimento seja realizado ou certo significado compreendido de modo equivocado. Isso justifica estar alerta para com o conceito de *affordances* negativos, a fim de entender como os estudantes interpretam o que está sendo ensinado ou operam em situações de instrumentação experimental. Portanto, depreende-se que compreender o elemento semiótico *affordances* negativos é relevante para o ensino e aprendizagem de química, dado que são elementos propícios à produção de erros de conceitos e de procedimentos.

Na tese, utilizamos a definição de conteúdos conceituais e procedimentais, de acordo com a tipologia proposta por Zabala (1998). Os

conceituais são constituídos por fatos ou dados, conceitos e princípios (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009). Os factuais são informações que afirmam ou declaram algo a respeito de fatos, acontecimentos, situações, dados e fenômenos concretos do mundo. As atividades básicas no ensino de conteúdos factuais envolvem exercícios de repetição e cópias literais para a memorização das informações, o que é insuficiente para aprender conceitos (ZABALA, 1998).

Os conceitos são acepções de fatos, objetos ou símbolos que têm características comuns. Zabala (1998) cita como exemplos de conceitos: mamífero, densidade, impressionismo, função, sujeito, romantismo, demografia, nepotismo, cidade, potência, revolução, capitalismo, entre outros. Todos esses conhecimentos têm algo em comum: demandam compreensão. Com relação à aprendizagem de princípios, Pozo e Gómez Crespo (2009) explicam que são temas abstratos, subjacentes à organização conceitual de uma área, embora nem sempre sejam suficientemente explícitos (FRASSON, LABURÚ, ZÔMPERO, 2019). Leis ou regras que relacionam demografia e território, normas de uma corrente arquitetônica ou literária, conexões que se estabelecem entre diferentes axiomas matemáticos exemplificam essa definição. Com base na explanação feita a respeito dos conceitos e princípios, diferentemente da aprendizagem de fatos, a aprendizagem desses conteúdos implica uma compreensão para além da reprodução e repetição de enunciados (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009; ZABALA, 1998). E ainda, conforme aponta Zabala (1998), a aprendizagem de conceitos e princípios se dá quando o estudante é capaz de utilizá-los para a interpretação de situações ou para a construção de novas ideias.

Os conteúdos procedimentais estão relacionados ao ensino de regras, técnicas, métodos, destrezas, habilidades e estratégias. A aprendizagem procedimental envolve um conjunto de ações ordenadas, dirigidas para a realização de um objetivo (ZABALA, 1998). São exemplos de conteúdos procedimentais: ler, desenhar, observar, calcular, classificar, traduzir, inferir, saltar, espetar, etc. Para Zabala (1998), a condição indispensável para que a aprendizagem procedimental possa se verificar é a exercitação, visto que, se aprende a fazer, fazendo. É importante esclarecer que, não foi intuito verificar os equívocos dos estudantes influenciados por *affordances* negativos segundo a dimensão dos conteúdos atitudinais.

Retomando, enfatizamos que, *affordances* negativos não se referem

precisamente a característica, mas é dependente dela para o convite semiótico, isto é, o apelo que direciona incorretamente o estudante a agir ou raciocinar. Essencialmente, eles atuam como um “convite ao erro”, intrínseco à morfologia das representações sígnicas. De forma detalhada, são elementos de estimulação reflexiva que potencializam nos estudantes uma resposta imprópria, que aparece de imediato, na realização da ação ou interpretação.

Os equívocos procedimentais, ocasionados pelos *affordances* negativos, são praticados na interação dos estudantes com objetos (representações 3D), instrumentos, artefatos científicos e durante a realização de atividades práticas em laboratório didático. Os equívocos conceituais são influenciados pela percepção dos *affordances* negativos nas formas representacionais simbólicas e não manipulativas no sentido anterior, originários de diagramas, gráficos, figuras, filmes, fotos, etc. Quer-se dizer com isso que, apesar da impossibilidade de interação concreta, algumas formas representacionais ocasionam incorretas conclusões conceituais devido aos *affordances* negativos. Portanto, as operações procedimentais inadequadas foram obtidas diretamente via gesticulação dos estudantes durante interação com as formas representacionais concretas 3D, tocáveis. Enquanto que, incorreções conceituais, ocasionadas pela percepção dos *affordances* negativos nas formas representacionais de manejo inexistente, foram obtidas por meio da fala, durante o compartilhamento dos conhecimentos científicos entre estudantes. Dessa forma, mediante as manifestações orais e gestuais na composição discursiva entre aprendizes e professor, na interação com o signo, analisamos os desvios de significados e ações ocasionados pelos *affordances* negativos.

Diante de todo o exposto, a proposta da pesquisa objetivou identificar os *affordances* negativos dos signos e os equívocos conceituais e procedimentais instigados por eles na aprendizagem de química dos estudantes e, examinar a natureza das representações sígnicas mediadoras da ação discursiva, que levaram os aprendizes à superação dessas incorreções. Portanto, a investigação, igualmente, examinou se os equívocos de manuseio e interpretação, advindos dos *affordances* negativos, foram ultrapassados pelos estudantes mediante representações sígnicas denominadas de mediadoras para a superação do equívoco (MSE). Ressaltamos a importância de um ambiente educativo baseado em processos discursivos dialógicos e de autoridade (SCOTT; MORTIMER;

AGUIAR, 2006) concatenados à metodologia de perguntas (COJOCARIU; BUTNARU, 2014), para estabelecer análises que permitam evidenciar a natureza das representações sígnicas MSE que levaram os aprendizes à superação de suas falhas de aprendizagem instigadas pelos *affordances* negativos.

Dessa forma, dadas as reflexões precedentes, primeiro, identificamos os *affordances* negativos que explicam os erros cometidos pelos estudantes e depois, discutimos se os enganos foram superados pela atuação de ensino, por meio da emissão de representações sígnicas MSE com função de sinais e indicações circunstanciais. Embasados nisso, o problema de pesquisa buscou identificar as incorreções conceituais e procedimentais cometidas pelos estudantes durante aprendizagem de química, influenciadas por *affordances* negativos. E, além dessa identificação, investigar os signos com função de sinal e indicação circunstancial, empregados no processo de interlocução entre professor e estudantes, responsáveis por redirecionar o raciocínio dos aprendizes à compreensão dos conceitos ou ao acerto dos procedimentos. Em outros termos, respondemos os seguintes problemas: “*Quais equívocos conceituais e procedimentais, cometidos pelos estudantes durante aprendizagem de química, são influenciados por affordances negativos e, qual a natureza das representações sígnicas, emitidas no percurso de ensino, que encaminham os aprendizes à superação desses equívocos?*”.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, subdivido em quatro seções, iremos detalhar o percurso teórico metodológico adotado para alcançar os objetivos da pesquisa – identificar os *affordances* negativos dos signos e os equívocos conceituais e procedimentais instigados por eles na aprendizagem de química dos estudantes e, examinar a natureza das representações sígnicas mediadoras da ação discursiva, que levaram os aprendizes à superação dessas incorreções. Na primeira seção, caracterizamos o contexto e a amostra da pesquisa para a obtenção das informações. Na segunda, descrevemos a estratégia metodológica para a submissão dos dados ao procedimento analítico. Na terceira, elencamos e apresentamos as atividades experimentais executadas. E na seção de fechamento, temos o instrumento para análise dos dados.

5.1 NATUREZA DA PESQUISA E INSTRUMENTOS DE COLETA DADOS

A investigação é descritiva, de caráter qualitativo e interpretativo, conforme os pressupostos teóricos de Bogdan e Biklen (1994). De acordo com esses autores, a natureza qualitativa da pesquisa contempla cinco características, a saber: 1) a fonte direta de dados deve ser o ambiente natural para análise do investigador; 2) a investigação é descritiva, de modo que os dados são analisados em sua totalidade e não reduzidos a informações quantitativas; 3) o foco de interesse está mais no processo do que nos produtos ou resultados; 4) os dados são analisados pelo investigador de forma indutiva e 5) a atribuição de significados tem papel fundamental na abordagem qualitativa (BOGDAN; BIKLEN, 1994). A natureza qualitativa deste trabalho justifica-se por satisfazer algumas dessas características, dentre as quais destacamos: i) coleta de informações a partir de gravações em áudio e vídeo, diários de campo e relatório realizado no ambiente natural dos estudantes – laboratório didático; ii) investigação dos dados pela pesquisadora, para posterior análise indutiva e iii) descrição e interpretação dos dados, de forma fiável, a fim de garantir fidedignidade aos resultados do processo investigativo.

As atividades da pesquisa foram realizadas com licenciandos do primeiro período de 2019 do curso de Licenciatura em Química da Universidade Estadual de Londrina (UEL) e estudantes do primeiro ano, de 2019 e 2020, do curso

Técnico em Química do Colégio Estadual Alberto Santos Dumont, localizado na cidade de Apucarana, norte do estado do Paraná. Vale ressaltar que não realizamos uma comparação dos dados obtidos com estudantes de nível superior e técnico e sim, buscamos mostrar que a identificação de *affordances* negativos e a qualificação das funções sígnicas empregadas durante interação discursiva independem dos níveis de ensino e domínio conceitual.

No segundo semestre de 2019, após aprovação em teste seletivo para atuar como professora temporária do curso de graduação de Licenciatura em Química da UEL, a pesquisadora passou a ser responsável pela disciplina Introdução à Química Experimental II, componente curricular do primeiro período do curso. Diante disso, avistou-se a possibilidade de responder às problemáticas da pesquisa ao utilizar o laboratório didático como meio provedor de identificação dos *affordances* negativos. Então, a pesquisadora conversou com os estudantes, regularmente matriculados no curso, a respeito da realização do estudo. Todos os estudantes concordaram em participar das atividades propostas e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, exibido no apêndice A.

Em 2019, no Colégio Estadual Alberto Santos Dumont, primeiramente, a pesquisadora conversou com a professora, explicou o objetivo do trabalho e pediu permissão para os responsáveis da instituição. Todos concordaram com a execução da pesquisa, inclusive os estudantes que assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice B). Posteriormente, para a tomada de dados, as aulas foram ministradas pela professora da turma na disciplina de Química Analítica. Em 2020, com a intenção de obter mais dados para a complementação e finalização do estudo, a pesquisadora conversou novamente com a professora do curso técnico e explicou a ela os motivos em dar continuidade à investigação. Seguidamente, a pesquisadora confirmou com estudantes a implementação da pesquisa que seria realizada nos meses de março, abril e maio. Todos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, mostrado no Apêndice B. No entanto, em razão da pandemia de Covid-19, as aulas foram interrompidas e, por esse motivo, apenas duas aulas foram gravadas, no início de março. Em conclusão, compuseram a amostra da pesquisa doze licenciandos do primeiro período de 2019, vinte estudantes do curso técnico de 2019 e vinte do curso técnico de 2020.

Realizamos a investigação em laboratório didático para compreender os equívocos de ações e entendimentos dos estudantes influenciados

pelos *affordances* negativos. Imersos nesse ambiente, os aprendizes participam mais ativa e efetivamente do processo de ensino e de aprendizagem ao serem instigados pela curiosidade, descoberta e resolução de problemas, facilitando a análise dos erros conceituais e procedimentais cometidos por eles. Em razão disso, a escolha das disciplinas de caráter prático-experimental no curso técnico e de graduação ocorreu devido à indispensabilidade de atividades empíricas, de acordo com as ementas dos cursos, em que são aplicadas técnicas básicas de laboratório com o intuito de aprimorar conhecimentos teóricos e práticos e propiciar o aperfeiçoamento das habilidades e competências imprescindíveis à formação profissional.

As atividades experimentais mesclam-se, coordenam-se e integram-se às múltiplas representações, como desenhos esquemáticos, equações químicas, gestos, linguagens orais e escritas, figuras, imagens entre outras formas representacionais. Também, os materiais, produtos químicos, aparelhos e equipamentos são imbuídos de significado e potencializam a ação e interpretação dos educandos nesse ambiente multimodal. Assim, justificamos a seleção das referidas disciplinas devido ao fato de as práticas experimentais auxiliarem os estudantes na compreensão de fenômenos e conceitos químicos mediante a estratégia multimodal e multirepresentacional durante interação discursiva.

5.2 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA PARA SUBMISSÃO DOS DADOS À ANÁLISE

Os casos analisados na tese se originaram da observação das ações, questionamentos e fala dos estudantes através dos modos representacionais oral e gestual emitidos pelos aprendizes durante momento instrucional. Por isso, no decorrer da exposição teórica na análise dos dados, interpretamos os equívocos de significados conceituais e operações procedimentais dos estudantes, instigados pelos *affordances* negativos, a partir dos modos oral e gestual.

As informações submetidas aos procedimentos analíticos foram registradas por meio de gravações em áudio e vídeo, relatórios e notas de campo observacionais elaboradas pela pesquisadora. Foram utilizadas três câmeras para registrar as ações e falas dos estudantes. Cada câmera foi posicionada fixamente em uma bancada do laboratório para observar com detalhes as discussões e ações dos sujeitos participantes. Em alguns casos, foram analisados os estudantes que

melhor puderam ser observados nas filmagens. A interpretação dos erros de conceitos e procedimentos foi produto de uma triangulação de dados para maior confiabilidade e validade dos resultados a serem apresentados.

Procedemos à análise do modo falado, a partir dos fragmentos obtidos da transcrição literal das interações discursivas observadas nos vídeos. Os excertos das transcrições se encontram entre aspas e fonte cursiva do tipo itálico. Ao início de cada frase, colocamos os códigos representativos dos sujeitos participantes. Entre parênteses, realizamos esclarecimentos e observações para aclarar o entendimento da situação e contexto. Os equívocos praticados pelos estudantes estão sublinhados nos extratos dos diálogos.

Para subsidiar a análise do modo gestual, em alguns casos, foram exibidos recortes dos vídeos – *frame*⁴ – dos instantes mais representativos e significativos para a identificação dos *affordances* negativos. Em determinadas situações, os gestos foram detalhados por meio da linguagem escrita, em vez de reproduzidos como imagens fixas. Dessa forma, os componentes gestuais, estão descritos entre colchetes. Acrescentamos, por fim, para cada transcrição de fragmento do discurso e *frames* a análise descritiva e interpretativa.

A transcrição das falas foi diferenciada da seguinte forma: os licenciandos do primeiro período de 2019 foram codificados de L1 a L12, os estudantes do curso técnico de 2019 de E1 a E20 e os aprendizes do curso técnico de 2020 de A1 a A20. Os números utilizados serviram para identificar o estudante que participou da pesquisa. As intervenções didáticas no ato comunicacional das professoras foram designadas pela letra P. A professora do curso Técnico em Química está simbolizada pelo código P1 e a professora pesquisadora da turma de licenciandos em química por P2. Para a preservação do sigilo e anonimato dos sujeitos participantes, além da codificação, nos *frames*, os rostos dos aprendizes e professoras estão escondidos por uma faixa cinza.

A maior parte do tempo decorrido das aulas no laboratório foi dispensada com os estudantes em prática experimental e discussão dos conteúdos científicos. Todas as atividades de investigação ocorreram em grupos. No quadro 3, mostramos a distribuição dos sujeitos participantes nos grupos.

⁴ *Frame* representa o recorte das imagens fixas de um vídeo.

Quadro 3 – Distribuição dos estudantes nos grupos

Grupo	Licenciatura em Química 2019	Técnico em Química 2019	Técnico em Química 2020
A	L1, L2, L3	E1, E2, E3, E4, E5	A1, A2, A3, A4, A5
B	L4, L5, L6	E6, E7, E8, E9, E10	A6, A7, A8, A9, A10
C	L7, L8, L9	E11, E12, E13, E14, E15	A11, A12, A13, A14, A15
D	L10, L11, L12	E16, E17, E18, E19, E20	A16, A17, A18, A19, A20

Fonte: Autores (2021)

Os grupos, para cada turma, foram distinguidos por Grupo A, B, C e D e reuniram os licenciandos em grupos de três indivíduos e grupos de cinco estudantes no curso técnico.

5.3 ATIVIDADES DIDÁTICAS EXPERIMENTAIS

Nesta seção, estão descritas todas as atividades desenvolvidas com os estudantes durante a pesquisa. As práticas experimentais e as dinâmicas discursivas utilizadas no momento instrucional constituem as estratégias didáticas adotadas para a identificação dos *affordances* negativos e caracterização das representações sígnicas MSE.

No curso de graduação, em 2019, as práticas laboratoriais foram selecionadas criteriosamente e adaptadas pela pesquisadora, a partir de um material didático, elaborado por docentes do departamento de Química da UEL e utilizado em disciplinas de Química Geral Experimental. Todas as aulas do segundo semestre foram gravadas, no entanto, devido à extensão das informações coletadas, optamos por apresentar os dados obtidos de quatro encontros de quatro horas-aula cada. Os conteúdos de química abordados nas atividades experimentais correspondem aos tópicos de equilíbrio químico, equilíbrio ácido-base, equilíbrio aquoso e eletroquímica.

No curso técnico, em 2019, a professora da turma aplicou uma sequência de ensino de seis aulas desenvolvida pela pesquisadora. No entanto, para a análise dos dados, selecionamos apenas um encontro de duas aulas de 55 minutos cada. O conteúdo das aulas foi acerca de solubilidade dos compostos orgânicos. O motivo dessa seleção deveu-se à identificação de um *affordance*

negativo potencial na indução de equívocos procedimentais. Os dados coletados nas demais aulas não se mostraram relevantes para este estudo e foram, por isso, descartados.

No curso técnico de 2020, duas aulas experimentais foram filmadas, uma, de técnicas de manuseamento e erros de vidrarias e a outra, de ligações químicas. Os roteiros desses experimentos também foram adaptados pela pesquisadora, a partir da apostila de Química Geral Experimental da UEL e, fornecidos à professora para a execução das aulas. O quadro 4 mostra as atividades experimentais realizadas e os conceitos discutidos no decorrer das aulas.

Quadro 4 – Atividades experimentais realizadas no laboratório de química

Atividades Experimentais		Tópicos de Ensino	Aulas	Duração	Datas da ocorrência
Curso: Licenciatura em Química (2019)					
1	Equilíbrio químico	Conceito de equilíbrio Constante de equilíbrio Princípio de Le Châtelier	4	3 h 20 min	23/09/2019
2	Equilíbrio ácido-base	Ácidos e bases: Revisão Escala de pH	4	3 h 20 min	30/09/2019
3	Equilíbrio aquoso	Efeito do íon comum Titulação ácido-base	4	3 h 20 min	07/10/2019
4	Eletroquímica	Reações de oxirredução Espontaneidade de reações redox Pilhas	4	3 h 20 min	28/10/2019
Curso: Técnico em Química (2019)					
5	Solubilidade dos compostos orgânicos	Funções Orgânicas Solubilidade dos compostos orgânicos Forças Intermoleculares	2	1h 10 min	20/08/2019
Curso: Técnico em Química (2020)					
6	Técnicas de laboratório	Medidas de volume Técnicas de manuseio	2	1h 10 min	06/03/2020
7	Ligações Químicas	Eletrólitos	2	1h 10 min	13/03/2020

Fonte: Autores (2021)

Os dados analisados, transcritos nesta investigação, referem-se às ocorrências de ensino no contexto das atividades experimentais especificadas no quadro 4. A seguir, descrevemos as circunstâncias de ensino e narramos acerca das atividades experimentais que permitiram a identificação dos *affordances* e a qualificação das representações significativas MSE com função de sinais e indicações circunstanciais.

5.3.1 Atividade Experimental 1 – Equilíbrio Químico

No início da aula, P2 explicou o conceito de equilíbrio químico. Depois disso, fez com os estudantes alguns cálculos usando a constante de equilíbrio. Após exposição dialogada a respeito do conhecimento científico, os estudantes iniciaram a prática experimental, a qual foi dividida em duas partes. Na primeira, o experimento tratava do efeito da temperatura no equilíbrio químico. Na segunda parte, foi realizado um experimento para observar o efeito da concentração no equilíbrio da reação do cloreto de ferro, FeCl_3 , com o tiocianato de amônio, $(\text{NH}_4)\text{SCN}$. No quadro 5, apresentamos o roteiro dos experimentos.

Quadro 5 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 1

Parte I – Efeito da Temperatura	
Materiais	Reagentes
Béquer Erlenmeyer com tampa	Ácido nítrico (HNO_3) Fio de cobre
Procedimentos Metodológicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Colocar no erlenmeyer um pedaço de fio de cobre. • Na capela, adicionar 1,0 mL de HNO_3 concentrado. • Fechar imediatamente o erlenmeyer com a tampa. • Colocar o frasco em banho de gelo por 5 minutos. Observar. • Em seguida, colocar o erlenmeyer em banho-maria por 5 minutos. Observar. • Completar a tabela (Apêndice C), de acordo com as suas observações. 	
Parte II – Efeito da concentração: Equilíbrio da reação do FeCl_3 com $(\text{NH}_4)\text{SCN}$	
Materiais	Reagentes
Bastão de vidro Béquer de 100 mL Estante para tubos de ensaio Pipetas graduadas Proveta de 100 mL Tubos de ensaio	Solução saturada de FeCl_3 Solução saturada de $(\text{NH}_4)\text{SCN}$ Cloreto de amônio sólido ($\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)}$)
Procedimento Experimental	
<ul style="list-style-type: none"> • Colocar 60 mL de água destilada em um béquer de 100 mL. Adicionar 2 gotas de soluções saturadas de FeCl_3 e de $(\text{NH}_4)\text{SCN}$ (Solução padrão). Agitar e observar. • Numerar 4 tubos de ensaio. Em cada um deles, adicionar 15 mL da solução padrão. • Adicionar ao tubo 2, pequenas quantidades de NH_4Cl. Agitar para homogeneizar até observar alguma mudança na solução. Comparar com o tubo 1. • Adicionar ao tubo 3, gotas de FeCl_3. Agitar para homogeneizar até observar alguma mudança na solução. Comparar com o tubo 1. • Adicionar ao tubo 4, gotas de $(\text{NH}_4)\text{SCN}$. Agitar para homogeneizar até observar alguma mudança na solução. Comparar com o tubo 1. • Completar a tabela (Apêndice C), de acordo com as suas observações. 	

Fonte: Apostila de Química Geral Experimental da UEL

O objetivo das atividades experimentais, parte I e II, foi verificar o deslocamento do equilíbrio químico, a reversibilidade das reações químicas e os efeitos da variação da concentração e temperatura em um sistema em equilíbrio, de acordo com o princípio de Le Châtelier.

5.3.2 Atividade Experimental 2 – Equilíbrio ácido-base

Nesta aula de equilíbrio em meio aquoso, a professora fez uma revisão dos conceitos de ácidos e bases, teorias de Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis, autoionização da água, escala de pH, força dos ácidos e bases, indicadores e relação entre K_a (constante de acidez) e K_b (constante de basicidade). Após, os estudantes realizaram a prática de pH para determinar a acidez e basicidade de algumas soluções, conforme o roteiro experimental exibido no quadro 6.

Quadro 6 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 2

Materiais	Reagentes
Béquer Conta-gotas Estante para tubos de ensaio Potenciômetro Tubos de ensaio	Alaranjado de metila Amarelo de alizarina Azul de bromofenol Azul de bromotimol Azul de timol Fenolftaleína Timolftaleína Verde de bromocresol Vermelho de metila Solução de ácido clorídrico (0,1 mol/L) Solução de hidróxido de amônio (0,1 mol/L) Solução de ácido acético (0,1 mol/L) Solução de acetato de sódio (0,1 mol/L) Solução de hidróxido de sódio (0,1 mol/L) Solução de cloreto de amônio (0,1 mol/L)
Procedimento Experimental	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Numerar quatro tubos de ensaio e em cada tubo adicionar 2 mL de solução de ácido acético (CH_3COOH, 0,1mol/L). 2. No tubo 1, adicionar duas gotas de azul de timol. No tubo 2, duas gotas de alaranjado de metila. No tubo 3, duas gotas de azul de bromofenol. No tubo 4, duas gotas de verde de bromocresol. 3. Repetir o procedimento do item 1 usando a solução de ácido clorídrico (HCl, 0,1mol/L) e os mesmos indicadores do item 2. 4. Repetir o procedimento do item 1 usando solução de hidróxido de amônio (NH_4OH, 0,1mol/L). Usar os indicadores azul de timol, fenolftaleína e amarelo de alizarina. 5. Repetir o procedimento do item 1 usando solução de hidróxido de sódio (NaOH, 0,1mol/L) e adicionar os mesmos indicadores do item 4. 6. Repetir o procedimento do item 1 usando solução de acetato de sódio (CH_3COONa, 	

0,1mol/L) e os indicadores azul de bromotimol, azul de timol, fenolftaleína e timolftaleína.

7. Repetir o procedimento do item 1 usando a solução de cloreto de amônio (NH_4Cl , 0,1mol/L) e os indicadores azul de bromofenol, verde de bromocresol, vermelho de metila e azul de bromotimol.

8. Medir o pH das soluções utilizadas nos itens anteriores com o potenciômetro.

9. Anotar os resultados na Ficha de Atividades (Apêndice D).

Fonte: Apostila de Química Geral Experimental da UEL

O objetivo da atividade experimental foi classificar as substâncias como ácidas ou básicas usando indicadores em meio aquoso e comparar o pH teórico das soluções com o pH obtido a partir do potenciômetro. Após a realização do experimento, os estudantes discutiram os diferentes processos de medidas de pH.

5.3.3 Atividade Experimental 3 – Equilíbrio Aquoso

Primeiro, a professora pediu para que os estudantes iniciassem a execução do experimento, descrito no quadro 7. A ficha de atividades da prática, respondida pelos licenciandos, está no apêndice E.

Quadro 7 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 3

Materiais	Reagentes
Béquer Conta-gotas Espátula Proveta	Bicarbonato de amônio Solução amoniacal Solução de fenolftaleína
Procedimento Experimental	
<ul style="list-style-type: none"> • Medir cerca de 200 mL de água. • Adicionar 10 gotas de solução amoniacal. • Adicionar algumas gotas de fenolftaleína. Observar a coloração. • Adicionar a ponta da espátula com bicarbonato de amônio. Agitar e observar. 	

Fonte: Apostila de Química Geral Experimental da UEL

O objetivo dessa aula experimental foi verificar o efeito do íon comum no equilíbrio químico. Depois da realização da prática, P2 deu início à explicação do conceito de titulação ácido-base.

5.3.4 Atividade Experimental 4 – Eletroquímica

Inicialmente, P2 retomou os conceitos de eletroquímica com os licenciandos e, logo após, iniciou a atividade, de acordo com o quadro 8. Os estudantes anotaram os resultados na ficha de atividades no apêndice F.

Quadro 8 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 4

Materiais	Reagentes
Béquer Conta-gotas Estante para tubos de ensaio Tubos de ensaio	Zinco metálico Cobre metálico Bombril Magnésio metálico Sulfato de zinco (ZnSO_4 , 0,1 mol/L) Sulfato de cobre (CuSO_4 , 0,1 mol/L) Ácido sulfúrico (H_2SO_4 , 3 mol/L)
Procedimento Experimental	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Enumerar 4 tubos de ensaio de 1 a 4. 2. Colocar no tubo 1, um pedaço de cobre metálico; no tubo 2, um pedaço de fita de magnésio, no tubo 3, zinco metálico e no tubo 4, um pequeno pedaço de palha de aço. 3. Adicionar 10 gotas de CuSO_4 (0,1 mol/L) em cada tubo de ensaio. Usar conta-gotas. 4. Esperar 5 minutos e observar se ocorre alguma alteração no sistema. 5. Anotar os resultados na ficha de atividades (Apêndice F). 6. Repetir os procedimentos dos itens 1 e 2. 7. Adicionar 10 gotas de ZnSO_4 (0,1 mol/L) em cada tubo. Usar conta-gotas. 8. Ao terminar, seguir as instruções dos itens 4 e 5. 9. Repetir o procedimento dos itens 1 e 2. 10. Adicionar 10 gotas de H_2SO_4 (3 mol/L) em cada tubo. Tomar cuidado. 11. Seguir as instruções dos itens 4 e 5. 12. Ao terminar, descartar o conteúdo de cada tubo de ensaio no béquer coletor de resíduos de ácido sulfúrico. <p>Observação: Para reduzir a produção de resíduos químicos, usar quantidade mínima de cada solução.</p>	

Fonte: Apostila de Química Geral Experimental da UEL

O objetivo desta atividade foi analisar as reações de oxirredução e comparar a reatividade dos metais. Após a realização do experimento, P2 solicitou que os estudantes escrevessem as reações de oxirredução para verificar a formação, ou não, das novas substâncias e classificassem o poder de reatividade dos metais utilizados. Depois disso, a professora discutiu com os estudantes a respeito da grandeza termodinâmica, ΔG , utilizada para prever a espontaneidade das reações químicas que ocorrem à temperatura e pressão constante.

5.3.5 Atividade Experimental 5 – Teste de solubilidade dos compostos orgânicos

Para a realização da atividade, P1 entregou para cada estudante uma cópia do texto (Apêndice G) e roteiro experimental (Quadro 9), que foram lidos por ela, enquanto os aprendizes acompanhavam a leitura. Em alguns instantes, a professora pausou a leitura para uma exposição dialogada dos conceitos químicos essenciais para a compreensão da prática, como forças intermoleculares, polaridade, ácidos e bases, grupos funcionais dos compostos orgânicos e solubilidade. Logo depois, os estudantes do curso técnico de 2019 receberam amostras de substâncias orgânicas, identificadas pelas letras A, B e C e iniciaram o procedimento experimental exposto no quadro abaixo.

Quadro 9 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 5

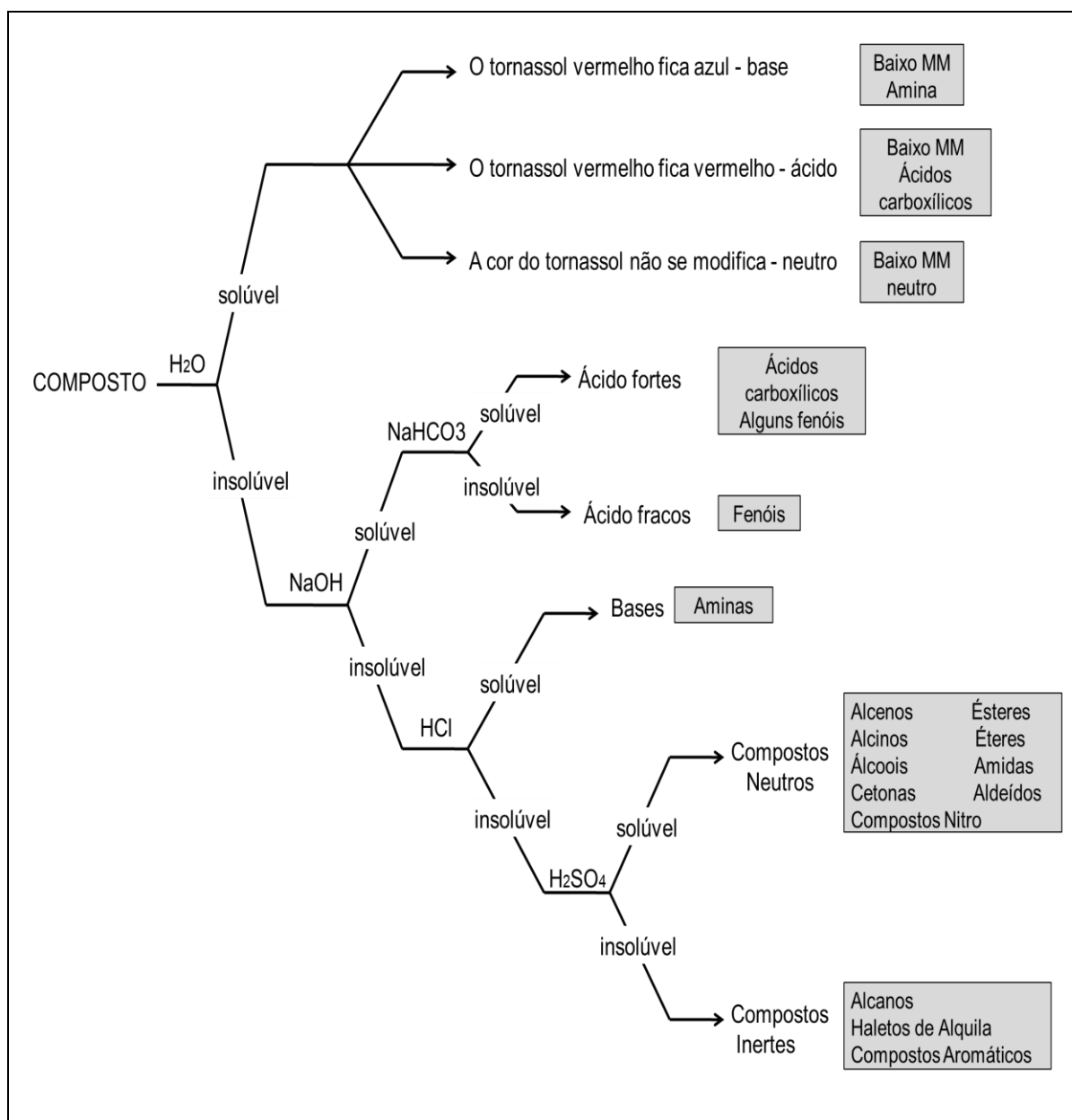
Materiais	Reagentes
Pissete com água destilada Papel tornassol Estante com 15 tubos de ensaio Espátulas Béquer de 50 mL Pipeta Pasteur	HCl (5% v/v) NaHCO ₃ (5% m/v) NaOH (5% m/v) H ₂ SO ₄ (concentrado)
Procedimento Experimental	
1. Colocar cerca de 2 mL do solvente em um tubo de ensaio. 2. Adicionar uma gota ou alguns cristais da amostra desconhecida diretamente no solvente. 3. Agitar vigorosamente. 4. Adicionar mais gotas do líquido ou mais alguns cristais do sólido para determinar a extensão da solubilidade do composto. Utilizar somente pequenas quantidades da substância desconhecida. Pode demorar alguns minutos até que os sólidos se dissolvam. 6. Determinar a solubilidade das substâncias desconhecidas em cada um dos seguintes solventes: água, HCl 5%, NaHCO ₃ 5%, NaOH 5% e H ₂ SO ₄ concentrado. Pode-se observar uma mudança de cor com o H ₂ SO ₄ em vez da dissolução. Uma mudança de cor deve ser considerada um teste de solubilidade positivo. 7. Se for detectado um composto que se dissolve em água, o pH da solução aquosa deve ser estimado com papel indicador de pH. 8. Após testar os solventes, localizar a amostra em um determinado grupo, por meio da figura 3. Anotar as observações na ficha de atividades (Apêndice G). Observação: O ácido sulfúrico é corrosivo, muito cuidado ao usá-lo. Não o aspire.	

Fonte: Autores (2021)

A atividade foi realizada em quatro grupos de cinco pessoas. Posteriormente, P1 revelou que as substâncias utilizadas no teste correspondiam ao ácido acético, acetato de etila e naftalina, que apresentam as seguintes funções orgânicas: ácido carboxílico, éster e composto aromático, respectivamente.

O objetivo desta prática foi ensinar aos aprendizes algumas técnicas qualitativas de química orgânica empregadas no reconhecimento de determinadas substâncias, analisar se um composto é solúvel ou insolúvel em um solvente e classificar os compostos orgânicos em seu respectivo grupo de solubilidade, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3 – Esquema para classificação de compostos orgânicos com base nos grupos funcionais



Fonte: Autores (2021)

Em complemento, no apêndice I, explicamos as etapas realizadas

pelos estudantes para a identificação das substâncias.

5.3.6 Atividade Experimental 6 – Técnicas de manuseio e leitura em instrumentos de medida

Inicialmente, a professora do curso técnico de 2020 explicou aos estudantes a respeito da leitura de escalas, Algarismos significativos, erros e tratamentos de dados experimentais. Também explicou sobre os instrumentos de medição de volumes de líquidos, bem como o correto uso e finalidade específica das pipetas volumétricas e graduadas, buretas, balões volumétricos e provetas. Em seguida, os estudantes realizaram a leitura de volume de líquidos utilizando diferentes instrumentos volumétricos, conforme o quadro 10.

Quadro 10 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 6

Materiais	Reagentes
Bureta Erlenmeyer Proveta Pipeta volumétrica e graduada	Água
Procedimento Experimental	
<ul style="list-style-type: none"> • Medir na proveta de 100,0 mL os seguintes volumes de água: 10,0 mL; 48,0 mL; 62,0 mL e 100,0 mL. • Medir 20,0 mL de água utilizando pipeta volumétrica. • Escolher pipetas graduadas adequadas e deixar escoar os seguintes volumes de água para um béquer de 50 mL: 1,6 mL; 2,0 mL; 2,3 mL; 6,5 mL e 7,0 mL. • Fazer leitura na bureta de 25 mL dos seguintes volumes: 25,0 mL; 15,3 mL; 15,0 mL; 11,4 mL e 9,7 mL. 	

Fonte: Apostila de Química Geral Experimental da UEL

O objetivo da aula foi fazer com que os estudantes manuseassem as vidrarias para a aprendizagem das técnicas de uso dos artefatos comumente utilizados em laboratórios.

5.3.7 Atividade Experimental 7 – Ligações Químicas

Nesta aula, foi realizada uma revisão de estudo das ligações químicas de forma expositiva dialógica. A professora utilizou aparelho multimídia para apresentação do conteúdo na forma de *slides* no *Power Point*. Após a retomada dos conceitos, iniciou-se o teste de condutividade elétrica de diferentes

materiais. No quadro 11, mostramos os materiais, reagentes e procedimentos utilizados na atividade experimental.

Quadro 11 – Materiais, reagentes e procedimentos da atividade experimental 7

Materiais	Reagentes
Béquer Dispositivo, com uma lâmpada, constituído por dois eletrodos, ligados em série, conectados a um gerador de corrente elétrica.	Água de torneira e destilada Cloreto de sódio sólido e em solução aquosa Sacarose sólido e em solução aquosa Acetona pura e em água destilada Solução de ácido clorídrico Solo em água Batata Laranja
Procedimento Experimental	
<ul style="list-style-type: none"> • Testar a condutividade elétrica das soluções e materiais usando o dispositivo. • Utilizar cerca de 1,0 g no caso de substâncias sólidas e cerca de 40 mL de cada solução para o teste. • Mergulhar as extremidades dos fios do dispositivo nos materiais a serem testados. • Completar a ficha de atividades (Apêndice H). 	

Fonte: Apostila de Química Geral Experimental da UEL

O objetivo da atividade experimental 7 foi verificar a relação da condução de corrente elétrica com o tipo de ligação química das substâncias.

5.4 INSTRUMENTO PARA ANÁLISE DOS DADOS

As manifestações orais e gestuais dos estudantes durante instrução científica de química foram analisadas para verificar os equívocos conceituais e procedimentais influenciados por *affordances* negativos. As operações procedimentais inadequadas foram obtidas diretamente via gesticulação dos estudantes durante interação com as formas representacionais concretas 3D. Enquanto que, incorreções conceituais, ocasionadas pela percepção dos *affordances* negativos nas formas representacionais de manipulação inexistente, foram obtidas por meio da fala, durante o compartilhamento dos conhecimentos científicos entre estudantes.

Para análise da superação das falhas de significados e ações procedimentais no decorrer do discurso, usamos os conceitos de sinais e indicações circunstanciais, segundo a transposição didática de Godoy (2016) e Laburú, Godoy e Zômpero (2016). Ambos os signos, sinais e indicações circunstanciais, foram

caracterizados quanto à forma e modo representacional de manifestação e tipos de ato sêmico, conforme a classificação de Prieto (1973). Assim sendo, mostramos a natureza da representação sígnica MSE que possibilitou aos estudantes ultrapassarem os mal-entendidos ocasionados pelos *affordances* negativos.

No quadro 12, apresentamos as definições resumidas dos conceitos principais utilizados na análise dos dados.

Quadro 12 – Definição dos conceitos para análise dos dados

	Conceito	Definição
Representações sígnicas mediadoras para superação do equívoco (MSE)	<i>Affordances</i> negativos	“Convite ao erro”, intrínseco à morfologia dos signos. Provocadores potenciais de equívocos.
	Sinais	Declarações literais e pontuais transmitidas de maneira direta pelo emissor.
	Indicações circunstanciais	Providenciadas por meio de pistas, dicas ou sugestões. Declarações indiretas e enviesadas que complementam a mensagem sob compreensão.

Fonte: Autores (2021)

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Neste capítulo, examinamos os casos ocorridos de equívocos de aprendizagem durante o ensino de química, que foram resultantes de *affordances* negativos. Depois, realizamos a análise da ação discursiva para mostrar a natureza da representação sígnica que encaminhou os estudantes a ultrapassarem as falhas conceituais ou procedimentais. As análises dos casos que seguem estão dispostas no quadro 13.

Quadro 13 – Sequência dos casos analisados

Casos		Atividade Experimental	Turma
1	Equívoco conceitual influenciado por <i>affordance</i> negativo na representação imagética e textual	1	*Lic. 2019
2	Equívocos conceituais influenciados por <i>affordance</i> negativo na representação gráfica e verbal	1	Lic. 2019
3	Equívoco procedimental influenciado por <i>affordance</i> negativo na representação experimental	1	Lic. 2019
4	Equívoco procedimental influenciado por <i>affordance</i> negativo em representação 3D	3	Lic. 2019
5	Equívocos conceituais influenciados por <i>affordance</i> negativo na representação simbólico-matemática	4 e 2	Lic. 2019
6	Equívoco conceitual influenciado por <i>affordance</i> negativo na representação gráfica	3	Lic. 2019
7	Equívoco procedimental influenciado por <i>affordance</i> negativo na representação diagramática	5	*TQ. 2019
8	Equívoco procedimental influenciado por <i>affordance</i> negativo no objeto	6	TQ. 2020
9	Equívoco conceitual influenciado por <i>affordance</i> negativo na representação experimental e imagética	7	TQ. 2020
* Lic: licenciatura			
*TQ: técnico em química			

Fonte: Autores (2021)

Conforme o capítulo anterior, os casos selecionados advieram da interação dos estudantes com diferentes tipos de representações semióticas empregadas em aprendizagem de química. Os aspectos gerais dos conteúdos abordados nas aulas estão descritos no apêndice I.

Reforçando, para análise da interação oral entre estudantes e professoras, apresentamos os fragmentos discursivos em itálico e, para análise gestual, as imagens dos gestos dos participantes da pesquisa. Entre colchetes, estão descritas as observações, anotadas pela pesquisadora, referentes às

atuações gestuais que não foram captadas pelas gravações e, também, para complementar a análise dos movimentos gestuais dos aprendizes. Entre parênteses estão comentários adicionais para esclarecimentos dos dados. Os equívocos conceituais estão sublinhados nos excertos dos diálogos para posterior discussão, enquanto os procedimentais são mostrados nos *frames* das imagens extraídas das gravações. Após a descrição dos dados, realizamos a análise descritiva e interpretativa dos equívocos estimulados pelos *affordances* negativos. Em seguida, discutimos o percurso de ensino do professor para a superação dos enganos dos estudantes a fim de elucidar a natureza das representações sígnicas MSE.

A análise dos casos está organizada da seguinte forma: apresentação do dado, discussão do dado e superação do equívoco. Primeiro, apresentamos os dados. Depois, realizamos a discussão por meio da análise descritiva e interpretativa dos equívocos conceituais e procedimentais com objetivo de identificar os *affordances* negativos. No tópico “superação do equívoco”, apontamos as funções sígnicas, empregadas no processo comunicativo, que levaram os aprendizes à superação das lacunas de aprendizagem instigadas pelos *affordances* negativos. Encerramos cada caso com um esquema a fim de resumir a análise realizada.

6.1 CASO 1 – EQUÍVOCO CONCEITUAL INFLUENCIADO POR *AFFORDANCE* NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO IMAGÉTICA E TEXTUAL

Apresentação do dado

Neste caso, evidenciamos um equívoco de interpretação a respeito do nível submicroscópico da estrutura atômica, documentado em pesquisas da educação científica (BEN-ZVI et al., 1987). Contudo, esta análise mostra a possível influência do erro conceitual segundo uma leitura de *affordance* negativo.

Antes da realização da atividade experimental 1, P2 explica o princípio de Le Châtelier para que os estudantes façam suposições qualitativas da resposta de um sistema em equilíbrio químico após perturbação no sistema. Para explicar o efeito da temperatura no equilíbrio estabelecido entre o cloreto de cobalto (II), COCl_2 , e ácido clorídrico, HCl , P2 projeta a imagem, exibida na figura 4, durante apresentação de *slides* em *Power Point*.

(Após a leitura, P2 questiona novamente):

P2: *E daí, será que podemos concluir que as moléculas de $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6$ são rosas e a cor das moléculas de CoCl_4 , azuis?*

L3: *É, realmente, eu acho que não. Porque a cor que é percebida resulta da combinação das cores não absorvidas. Não quer dizer que a cor que eu vejo da solução é a cor dos átomos, das moléculas ou dos íons.*

P2: *Provavelmente. Olha, pessoal. Ainda há muito para se investigar sobre os átomos. Ninguém nunca viu um átomo, mas com base nessas informações que vimos, não podemos dizer que o átomo ou a molécula terá certa coloração porque o material ou solução tem determinada cor.*

Discussão do dado

No início do diálogo, L3 pergunta – “*Professora, os átomos têm cor? Nesse exemplo, quer dizer que as moléculas de $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6$ são rosas e as de CoCl_4 azuis?*”. Verifica-se, a partir do modo falado, uma interpretação incorreta: as moléculas apresentam determinada cor porque as soluções têm tais colorações.

O equívoco de tipo conceito ocorre devido à representação imagética e textual da figura 4. Os desenhos dos complexos hexaaquocobalto (II), $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ (aq), e tetraclorocobalto (II), CoCl_4^{2-} (aq), representados pelas cores rosa e azul, respectivamente, e a escrita na imagem nas letras a, b e c da seguinte forma: em (a) íons rosas $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ e íons azuis CoCl_4^{2-} , em (b) formando mais CoCl_4^{2-} azul e em (c) no sentido do $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ rosa, direcionam as reflexões do estudante à explicação errada. Ou seja, a representação das estruturas moleculares visualmente coloridas e o texto, em que está escrito “ CoCl_4^{2-} azul” e “ $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ rosa” influenciam a compreensão errônea do estudante ao associar a cor da solução às cores das moléculas. Isso pode ser constatado na fala de L3 – “[...] *as moléculas de $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6$ são rosas e as de CoCl_4 azuis*”. Por conseguinte, a cor e a forma da representação textual, na parte abaixo da figura, juntas, constituem um *affordance* negativo. Em razão disso, identificamos a ocorrência do erro de interpretação como uma situação sugestionada pelo *affordance* negativo. Quer dizer, o *affordance* negativo se caracteriza por conduzir o estudante ao entendimento errôneo de que os átomos têm cor.

Superação do equívoco

Com a intenção de solucionar a dúvida de L3 – “*Professora, os átomos têm cor? Nesse exemplo, quer dizer que as moléculas de $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6$ são rosas e as de CoCl_4 azuis?*” – P2 procura em seu material um artigo que esclarece sobre a cor dos compostos de coordenação. Depois, inicia a discussão com a emissão de um signo na forma de sinal na categoria social de informação – “*A interação da matéria com radiações eletromagnéticas de comprimento de onda entre 450 e 750 nm, denominada luz visível se manifesta através das cores das substâncias*”. Seguidamente, promove a emissão de um signo de tipo indicação circunstancial (IC) na forma de ato sêmico de interrogação – “*Por qual motivo, uma solução aquosa de sulfato de cobre tem cor azul esverdeada, enquanto que uma solução aquosa de permanganato de potássio é vermelho? Será que os íons da solução de sulfato de cobre também são azuis e os da solução de permanganato de potássio vermelhos?*”. Essas perguntas se qualificam como indicação circunstancial devido à complementação da mensagem do sinal de informação emitido primeiramente e por provocar a reflexão dos estudantes acerca do equívoco conceitual de L3.

Ao estimular a participação dos licenciandos por meio da indicação circunstancial, a professora nota que L3 e todos os colegas de classe apresentam incompreensões e dúvidas quanto à composição atômica no nível submicroscópico, confirmadas pelo silêncio mantido após os questionamentos. Depois de um tempo de espera, L3 responde – “*Nossa, professora, eu realmente não sei*” – um indício de não compreensão. Então, nesse caso, os signos iniciais emitidos por P2, com função de sinal de informação e indicação circunstancial, não são suficientes para levar os estudantes a um estado de compreensão da mensagem pretendida: provavelmente, a cor dos compostos, percebidos visualmente, não corresponde à cor dos átomos em nível submicroscópico, pois a cor que uma substância exhibe corresponde à fração da luz visível que ela não absorve.

Para que os estudantes entendam a contradição da pergunta de L3, P2 fornece explicações, a partir da leitura de um texto projetado na tela por meio de *slides*, a fim de direcionar o raciocínio dos estudantes a uma apropriação conceitual mais coerente do nível submicroscópico da estrutura atômica. A professora realiza a leitura dirigida de alguns recortes do material encontrado e enuncia comentários para toda classe – “[...] *As radiações que não são absorvidas correspondem basicamente às cores: violeta, azul, verde e amarelo, que juntas constituem a*

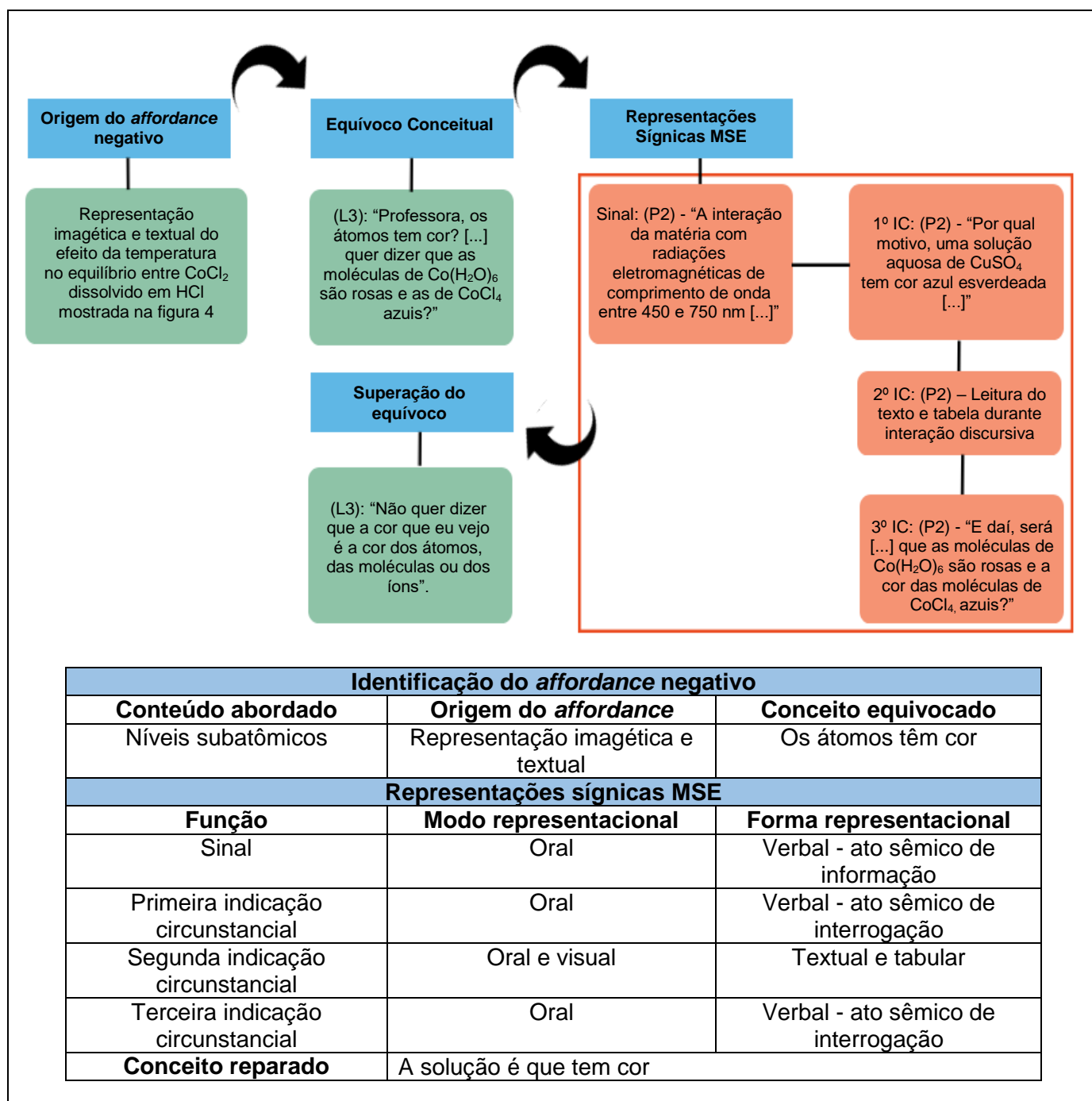
coloração azul esverdeada da solução que é percebida pelos nossos olhos". Após exposição da tabela (inserida na transcrição do diálogo), P2 complementa a informação anterior – “[...] *pode-se observar que a solução azul absorve comprimentos de onda correspondentes à cor vermelha, de modo que as cores não absorvidas, azul, violeta, verde, amarelo e alaranjado, combinadas, resultam na cor azul da solução*". O objetivo da leitura é fazer com que os estudantes percebam a incorreção conceitual da pergunta de L3. Nesse sentido, a leitura do texto e tabela, no momento da interação discursiva, operam como uma segunda indicação circunstancial, pois fornecem subsídios para contextualizar, completar e focalizar a mensagem comunicada por P2.

Depois disso, P2 lança uma terceira indicação circunstancial na forma de ato sêmico de interrogação – “*E daí, será que podemos concluir que as moléculas de $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6$ são rosas e a cor das moléculas de CoCl_4 azuis?*” – para verificar se os estudantes extraem o entendimento potencializado pelo uso da indicação circunstancial que a antecede. Assim sendo, a professora faz um questionamento para subsidiar a provocação da mensagem anterior gerada pela indicação circunstancial e, por isso, tal ato sêmico também se configura como um signo com função de indicação circunstancial. Após a pergunta acima, L3 afirma – “[...] *a cor que é percebida resulta da combinação das cores não absorvidas. Não quer dizer que a cor que eu vejo é a cor dos átomos, das moléculas ou dos íons*”. A partir dessa afirmação, a professora confirma que L3 sai de um estado de má compreensão – *as moléculas de $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6$ são rosas e as de CoCl_4 azuis* – influenciado previamente pelo *affordance* negativo e alcança uma conclusão conceitual condizente com o aceite pela comunidade científica. Nesse caso, há indícios de que as emissões das indicações circunstanciais em forma de perguntas e representação textual, acompanhada da tabela, desencadeiam um estado de compreensão de L3 da mensagem cientificamente esperada.

A cor dos compostos de coordenação depende de vários fatores. No entanto, o estudo das cores dos complexos dos metais do bloco d da tabela periódica é tópico de ensino do último ano do curso de graduação de Licenciatura em Química da UEL. Por esse motivo, a professora optou por uma explicação simplificada para a classe no que diz respeito às cores dos compostos de coordenação.

Na figura 5, apresentamos um resumo da análise realizada a fim de destacar a origem do *affordance* negativo e o conceito equivocado instigado por ele. Também, mostramos a sequência das representações sígnicas MSE utilizadas no discurso para superar as incorreções manifestadas pelo aprendiz.

Figura 5 – Esquema da análise e discussão do caso 1



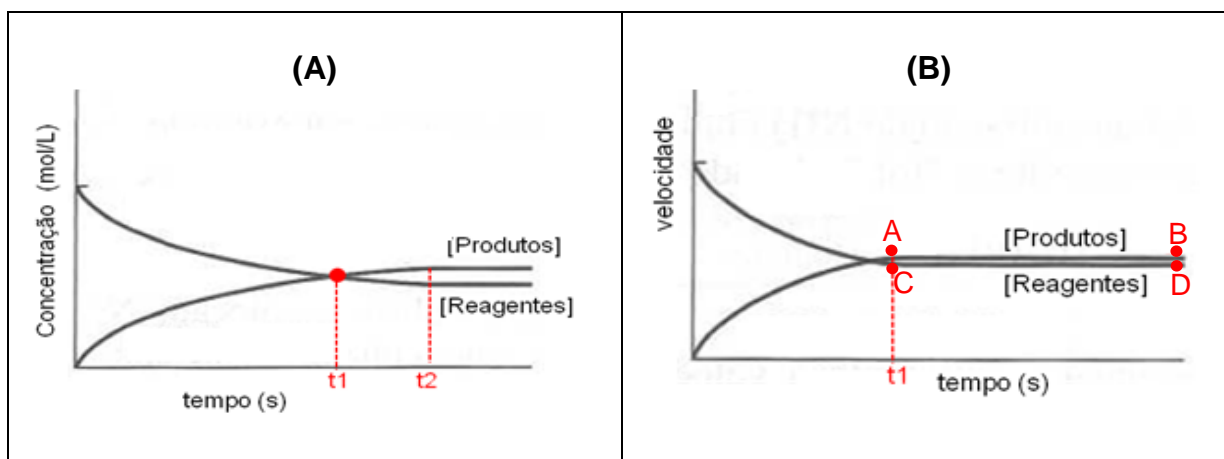
Fonte: Autores (2021)

6.2 CASO 2 – EQUÍVOCO CONCEITUAL INFLUENCIADO POR AFFORDANCE NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA E VERBAL

Apresentação do dado

Este caso está relacionado ao mesmo contexto do caso anterior. No decorrer da explicação do conceito de equilíbrio químico para a compreensão da atividade experimental 1, P2 diz – “Após atingir o equilíbrio, não observamos mais mudanças macroscópicas no sistema”. Em seguida, desenha na lousa as representações gráficas, mostradas na figura 6, e pede para que a classe examine os gráficos da concentração *versus* tempo e velocidade *versus* tempo.

Figura 6 – Formas representacionais gráficas da concentração *versus* tempo e velocidade *versus* tempo



Fonte: Autores (2021)

A partir dos gráficos, P2 lança a pergunta – “Pessoal, olhando para os gráficos, o que acontece após o equilíbrio químico ser atingido?”. Após um tempo de espera, a professora percebe equívocos conceituais significativos, como mostram os fragmentos do ato dialógico:

L10: Quando atinge o equilíbrio, as concentrações dos reagentes e produtos são iguais e as velocidades também.

P2: O equilíbrio é atingido em que instante?

L8: Bom, eu acho que no t1 [aponta para o ponto de interseção das linhas no gráfico A]. No ponto em que cruza, porque daí os reagentes e produtos vão ter as concentrações iguais.

(A professora observa que alguns estudantes concordam com a afirmação de L8).

P2: *Tem certeza? Alguém mais quer dizer alguma coisa sobre os gráficos?*

L9: *As concentrações ficam constantes quando atinge o equilíbrio, elas não são iguais. As velocidades dos reagentes formando produtos e produtos formando reagentes, daí sim, são iguais.*

P2: *Ok, e o que isso significa?*

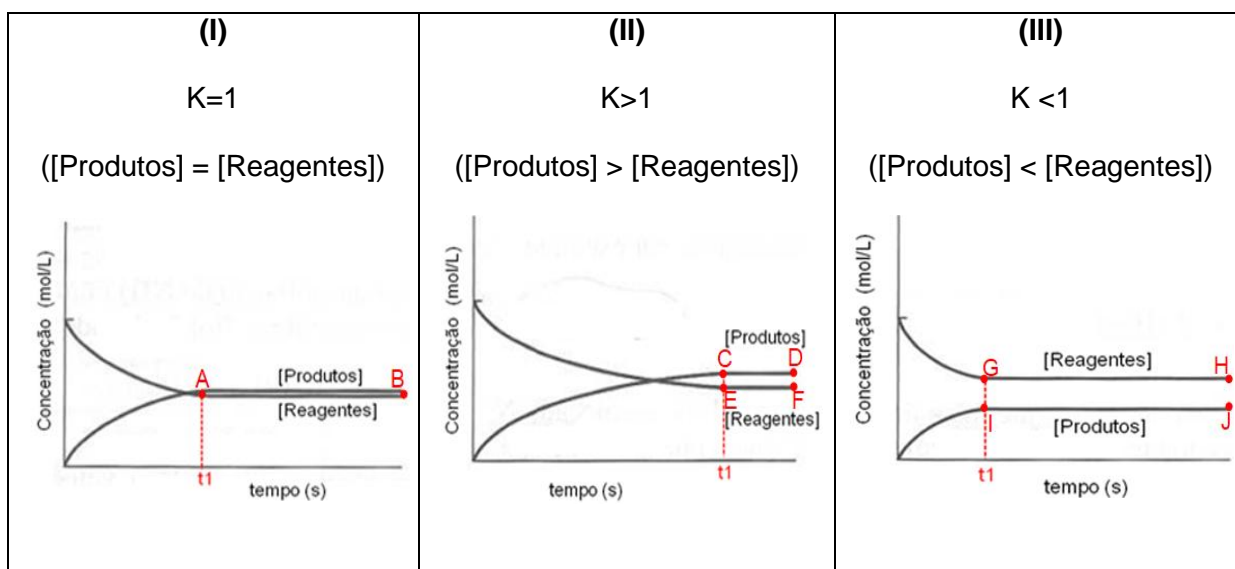
L9: *Que não acontece mais mudanças na reação, igual você disse no começo, então ela para de acontecer e atinge o equilíbrio.*

P2: *Você quer dizer, então, que no equilíbrio químico a reação cessa?*

L9: *Sim, porque as concentrações são constantes e a velocidade das reações também, então eu acho que não tem como continuar a reação; ela fica em equilíbrio. A reação não sai do lugar.* [Aponta para o gráfico (B) e gesticulando com as mãos faz um movimento, de trás para frente, na direção horizontal, no sentido de A a B e C a D do gráfico (B)].

Ao notar a dificuldade de L8, L9 e L10 em compreender as condições do equilíbrio químico, P2 desenha três gráficos lado a lado, expostos na figura 7, com o intuito de induzir o raciocínio dos estudantes à direção da compreensão conceitual.

Figura 7 – Formas representacionais gráficas no ensino de equilíbrio químico



Fonte: Autores (2021)

Após desenhar os gráficos na lousa, a professora explica para toda a classe por meio do seguinte trecho do diálogo:

P2: *Vamos analisar os gráficos da concentração em função do tempo. Nesses três gráficos, quando o sistema está em equilíbrio?*

L2, L3, L9: *Quando as concentrações são constantes.*

P2: *Isso, a partir do instante em que as concentrações ficam constantes. [P2 aponta com os dedos para t1 nos gráficos (I), (II) e (III) e passa com o marcador de quadro branco por cima das linhas do ponto A ao B, no gráfico da parte (I), do ponto C ao D e E ao F, no gráfico da parte (II) e do ponto G ao H e I ao J, no gráfico (III)].*

L10: *Professora, então, não necessariamente elas precisam estar na mesma concentração. Elas (as concentrações) podem ser diferentes, porque no I, a concentração dos produtos é igual à dos reagentes, no II, a concentração dos produtos é maior do que a dos reagentes e, no III, a concentração dos produtos é menor do que a dos reagentes.*

P2: *Isso. Então, o que podemos concluir?*

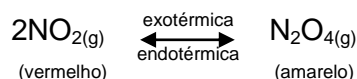
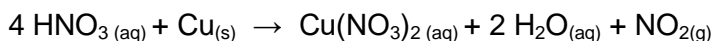
L10: *Mesmo diferentes, no instante em que as concentrações passam a ser constantes, a reação atinge o equilíbrio químico. As concentrações dos reagentes e produtos podem ser iguais, maiores ou menores. Mas tem uma condição para que um sistema esteja em equilíbrio químico que é estar constante.*

Dando continuidade à aula, a professora pede para que os estudantes realizem a atividade experimental 1, parte I, descrita na subseção 5.3.1, para verificar o efeito da temperatura no equilíbrio. Particularmente, a atividade prática foi aproveitada pela professora para ilustrar a natureza dinâmica e reversível do equilíbrio químico. Realizado o experimento, P2 faz discussões com os estudantes, conforme o diálogo a seguir:

P2: *Vocês conseguem me explicar o que aconteceu com o equilíbrio após a variação na temperatura?*

L2: *Primeiro, à temperatura ambiente, nós vimos que, a coloração ficou um pouco alaranjada. Quando colocamos no banho de gelo, ficou com uma coloração bem mais fraca e, quando aquecemos, ficou bem mais escuro.*

P2: *Pessoal, eu vou escrever a reação química para vocês. (A professora escreve as equações químicas a seguir no quadro e, depois, continua):*



E agora? Vocês conseguem explicar o que aconteceu com base na reação química?

L2: O aumento da temperatura favorece o equilíbrio no sentido endotérmico da reação. Aí, com o aquecimento tinha o favorecimento da formação do composto NO_2 , que é vermelho. Quando você esfria, favorece a formação de N_2O_4 , que é amarelo, no sentido da reação exotérmica.

P2: Isso. E quando o sistema não sofre variação na temperatura?

L3: O sistema fica em equilíbrio. O NO_2 forma N_2O_4 e o N_2O_4 se regenera para formar NO_2 .

P2: Então, antes de vocês colocarem no banho de gelo ou no banho-maria com água fervendo, será que a reação tinha parado de acontecer?

L3: Não. A reação não para. Ela continua acontecendo, só que não conseguimos observar macroscopicamente o que está ocorrendo no nível submicroscópico. Daí, antes de colocarmos no banho de gelo e, depois, no banho-maria, a coloração que formou é por causa da mistura do equilíbrio dos dois, NO_2 e N_2O_4 .

P2: Muito bem. Nós vimos que mudou a coloração do sistema, então podemos dizer que isso é uma evidência de que a reação não tinha parado, e quando perturbamos o sistema, por meio da variação da temperatura, observamos no experimento para onde o equilíbrio havia tendido. Quando eu digo que não ocorre mais mudanças macroscópicas na reação ao atingir o equilíbrio, é porque, normalmente, não conseguimos perceber visualmente modificações no sistema. Não significa que a reação para, pelo contrário, a reação continua ocorrendo nos dois sentidos com velocidades iguais e concentrações constantes e é isso que caracteriza um equilíbrio químico. Entenderam?

L2: Sim. Quando há perturbação no sistema, ele tende a voltar novamente a atingir o equilíbrio. As reações do equilíbrio não cessam, porque o equilíbrio químico é dinâmico. Quando a velocidade da reação direta se iguala à velocidade da reação inversa, não são mais observadas variações macroscópicas no sistema, mas isso não significa que a reação para de acontecer.

P2: Isso mesmo. L9, você entendeu por que a reação em equilíbrio químico é dinâmica?

L9: Entendi. Eu não posso dizer que a reação para. Ela continua no sentido da reação direta e inversa. Eu sempre vou ter reagente formando produto ou produto formando reagente, ao mesmo tempo no equilíbrio. E, quando ocorre perturbação, o sistema sempre tende

a minimizar o efeito da variação para voltar novamente ao estado de equilíbrio.

P2: *Exatamente. Muito bem.*

Discussão do dado

Parte (1): Equívoco conceitual influenciado por *affordance* negativo na representação do gráfico (A) e representação verbal

Os estudantes L8 e L10 expressam interpretações incorretas de equilíbrio químico ao pronunciarem – (L8): “[...] *os reagentes e produtos vão ter as concentrações iguais*” e (L10): “*Quando atinge o equilíbrio, as concentrações dos reagentes e produtos são iguais*”. Essa má interpretação é apoiada no *affordance* negativo do gráfico (A) atrelado ao ponto de intersecção das linhas, no tempo t1, confirmado por L8 ao dizer – “*No ponto em que cruza*” (no gráfico) – e a palavra equilíbrio. No gráfico (A) da figura 6, as linhas dos produtos e reagentes se cruzam quando as concentrações são iguais. No t1, porém, esse não é o instante em que o sistema atinge o equilíbrio químico e, sim, quando as concentrações dos produtos e reagentes permanecem constantes com o passar do tempo, a partir de t2. Todavia, o ponto de intersecção no gráfico A captura a atenção de L8 e L10, levando-os à incorreção conceitual: no equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e produtos são iguais. Além disso, a palavra “equilíbrio” reforça uma ideia de igualdade, suggestionando-os a comunicar que no t1 o equilíbrio químico é alcançado, visto que, exatamente nesse ponto, as concentrações dos produtos e dos reagentes se igualam. Por essas razões, a característica específica do gráfico, ponto de intersecção no t1, mais o termo equilíbrio são fontes da incompreensão de L8 e L10 e, portanto, podemos classificá-los como um *affordance* que encaminha negativamente à interpretação conceitual.

Parte (2): Equívoco conceitual influenciado por *affordance* negativo na representação do gráfico (B) e representação verbal

No fragmento do discurso de L9, notamos que sua interpretação é influenciada pelo comentário de P2, no início da aula – “*Após atingir o equilíbrio, não*

observamos mais mudanças macroscópicas no sistema”. Essa frase leva L9 a compreender o conceito de equilíbrio químico como um estado estático, provado por sua fala – “*Não acontece mais mudanças na reação, igual você disse, então ela para de acontecer e atinge o equilíbrio*”. Após o questionamento de P2 – “*Você quer dizer, então, que no equilíbrio químico a reação cessa?*” – L9 reafirma – “[...] *eu acho que não tem como continuar a reação; ela fica em equilíbrio. A reação não sai do lugar*”. Acompanhando essa fala, L9 faz gestos, aponta para o gráfico e gesticulando com as mãos faz um movimento, de trás para frente, na direção horizontal no sentido de A a B do gráfico (B) da figura 6, que auxiliam a identificação do *affordance* negativo do gráfico, relacionado ao nivelamento das linhas dos pontos A-B e C-D. Essa característica é um convite à seguinte conclusão: a reação para de acontecer.

As linhas retas, sinalizadas pelos pontos A-B e C-D da representação gráfica (B) na figura 6, e a fala da professora complementam-se e tornam-se *affordances* negativos, indutores da associação conceitual errônea de L9: não acontecem mais mudanças macroscópicas, logo, a reação para de acontecer. A concepção do equilíbrio sem movimento é dissonante da interpretação científica do conceito, no qual há coexistência dinâmica entre reagentes e produtos que são consumidos ao mesmo tempo, o que significa dizer que a reação química continua a ocorrer nos dois sentidos, direto e inverso, porém com a mesma velocidade (RUSSEL, 1994). Verificamos que a interpretação de L9 é influenciada pelas linhas horizontais do gráfico (B) e pelo modo da fala da professora, que o sugestionam ao significado de equilíbrio químico estático.

Diante de todo o exposto, os *affordances* negativos ligados às características dos signos nas formas representacionais – o ponto de intersecção do gráfico (A), as linhas retas do gráfico (B), a palavra equilíbrio e o modo de fala da professora – conduzem à explicação incorreta dos estudantes L8, L9 e L10. Nossas observações revelam que os *affordances* negativos estimulam entendimentos falhos acerca do conceito de equilíbrio químico.

Adiante, mostramos as estratégias adotadas pela professora no percurso comunicativo para levar os estudantes a um estado de compreensão do significado de equilíbrio químico.

Superação do equívoco

Parte (1): Superação do equívoco influenciado por *affordance* negativo na representação do gráfico (A) e representação verbal

Ao perceber a falha conceitual de L8, L9 e L10 instigada pelo *affordance* negativo, P2 desenha lado a lado os gráficos da figura 7. Na sequência, indaga os estudantes por meio de um ato sêmico na categoria social de interrogação – “[...] *Nesses três gráficos, quando o sistema está em equilíbrio?*”. De imediato, três licenciandos, L2, L3 e L9, respondem corretamente – “*Quando as concentrações são constantes*”. Contudo, observa-se que o ato sêmico comunicado por P2 é característico de um questionamento de baixo nível cognitivo, segundo a classificação de Coutinho e Almeida (2014), haja vista que tem a finalidade de resgatar informações memorizadas dos estudantes acerca do conceito. Por isso, nesse caso, o ato sêmico de interrogação tem característica de um sinal.

Posteriormente, P2, sem dizer palavra alguma, aponta com os dedos o instante em que o equilíbrio químico é alcançado nos gráficos (I), (II) e (III) da figura 7 e, usando um marcador de quadro branco, como se fosse uma régua, tangencia os trechos dos pontos sinalizados ([P2 passa com o marcador de quadro branco por cima das linhas do ponto A ao B, no gráfico (I), do ponto C ao D e E ao F, no gráfico (II) e do ponto G ao H e I ao J, no gráfico (III)]). Dessa forma, P2 tem a intenção de levar os estudantes à compreensão da mensagem científica: no equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e produtos são constantes, porém podem ser diferentes.

No contexto em que aparecem na dinâmica discursiva, os gestos emitidos por P2, juntos das formas representacionais gráficas, funcionam como indicação circunstancial. Tal qualificação se deve, justamente, por conta da forma enviesada e indireta com que esses signos são utilizados por P2 para circunstanciar e delimitar a mensagem intencionada. Em vez de transmitir um sinal direto na forma de ato sêmico de informação, como, por exemplo – *no equilíbrio químico, as concentrações dos produtos e reagentes são constantes e podem se diferir* – P2 pretende com a atuação gestual, de modo concomitante com as formas representacionais gráficas da concentração em função do tempo, estimular uma forma de raciocínio independente dos estudantes à compreensão da mensagem. Conseqüentemente, dentre as possíveis maneiras de explicar que, no equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e produtos são constantes, mas podem

ser diferentes, P2 emite uma indicação circunstancial para situar e restringir o significado pretendido.

Após a emissão da indicação circunstancial, L10 chega ao entendimento – “[...] *não necessariamente elas precisam estar na mesma concentração. Elas (as concentrações) podem ser diferentes, porque no I, a concentração dos produtos é igual à dos reagentes, no II, a concentração dos produtos é maior do que a dos reagentes e, no III, a concentração dos produtos é menor do que a dos reagentes*” –, uma evidência de compreensão da mensagem comunicada por P2. Assim, com o emprego da indicação circunstancial, P2 consegue fazer com que L10 saia do estado de má compreensão, constatado no início da aula no seguinte extrato de sua fala – “*Quando atinge o equilíbrio, as concentrações dos reagentes e produtos são iguais*” – para um estado de compreensão da mensagem, confirmado quando o licenciando reafirma – “*Mesmo diferentes, no instante em que as concentrações passaram a ser constantes, a reação atinge o equilíbrio químico. As concentrações dos reagentes e produtos podem ser iguais, maiores ou menores. Mas tem uma condição para que um sistema esteja em equilíbrio químico que é estar constante*”. Portanto, há indícios de que a indicação circunstancial, expressa na forma de signos gestuais e gráficos, auxilia a compreensão conceitual de L10, superando o equívoco inicialmente impulsionado pelo *affordance* negativo.

Parte (2): Superação do equívoco influenciado por *affordance* negativo na representação do gráfico (B) e representação verbal

De início, L9 apresenta uma concepção de estado estático para o conceito de equilíbrio. Frente a isso, P2 solicita que os estudantes realizem a atividade experimental 1, parte I, com o objetivo de corrigir, especificamente, esse tipo de equívoco conceitual.

Realizado o experimento, P2 inicia o diálogo com a turma fazendo um questionamento por meio de um sinal oral na forma de ato sêmico de interrogação – “*Vocês conseguem me explicar o que aconteceu com o equilíbrio após a variação na temperatura?*”. L2 responde – “*Primeiro, à temperatura ambiente, nós vimos que a coloração ficou um pouco alaranjada. Quando colocamos no banho de gelo, ficou com uma coloração bem mais fraca e, quando aquecemos, ficou bem mais escuro*”. Insatisfeita com a resposta de L2, em razão de sua afirmação enfocar,

unicamente, nas características superficiais do experimento, P2 se serve de uma indicação circunstancial na seguinte forma: escreve a reação química ocorrida na atividade experimental e, seguidamente, lança uma questão na forma de ato sêmico de interrogação – *“E agora? Vocês conseguem explicar o que aconteceu com base na reação química?”*. Prontamente, mais uma vez, L2 responde – *“O aumento da temperatura favorece o equilíbrio no sentido endotérmico da reação. Aí, com o aquecimento tinha o favorecimento da formação do composto NO_2 , que é vermelho. Quando você esfria, favorece a formação de N_2O_4 , que é amarelo, no sentido da reação exotérmica”* – uma evidência de compreensão da mensagem comunicada por P2. Nesse extrato, fica evidente o aprimoramento do universo do discurso de L2 com o emprego da indicação circunstancial.

Como se verifica, a segunda pergunta de P2 – *“Vocês conseguem explicar o que aconteceu com base na reação química?”* –, concatenada à equação química escrita na lousa, atua como signo com função de indicação circunstancial, posto que seu emprego na comunicação é reforçar a mensagem por detrás do significado originalmente pretendido pelo sinal de interrogação – *“Vocês conseguem me explicar o que aconteceu com o equilíbrio após a variação na temperatura?”*. Após a transmissão desse sinal, L2 mostra um estado de má compreensão da mensagem do sinal, pois a mensagem que P2 tenta transmitir é diferente daquela que o receptor atribui ao sinal. Todavia, em vez de emitir um sinal direto para advertir a L2 que sua resposta está incorreta, P2 escreve a equação química, contendo informações do processo reacional no quadro e lança um ato sêmico na categoria social de interrogação para redirecionar os estudantes à compreensão da mensagem desejada e, por isso, nesse contexto, tais representações são qualificadas como uma indicação circunstancial. Em outros termos, a segunda pergunta, atrelada ao uso da equação química incluindo representações escritas das cores dos compostos e direção do processo endotérmico e exotérmico, indica para L2 que sua resposta inicial se encontra insatisfatória e que seu raciocínio precisa ser reformulado. Em razão disso, é caracterizada como uma indicação circunstancial. Particularmente, a mensagem proporcionada pela emissão dessa indicação é rematada por L2, conforme seu extrato de fala no parágrafo anterior.

Com o entendimento potencializado por meio da indicação circunstancial, situação mostrada pelo estudante L2, visto ter atingido o estado de compreensão esperado, P2 complementa a interação discursiva com dois

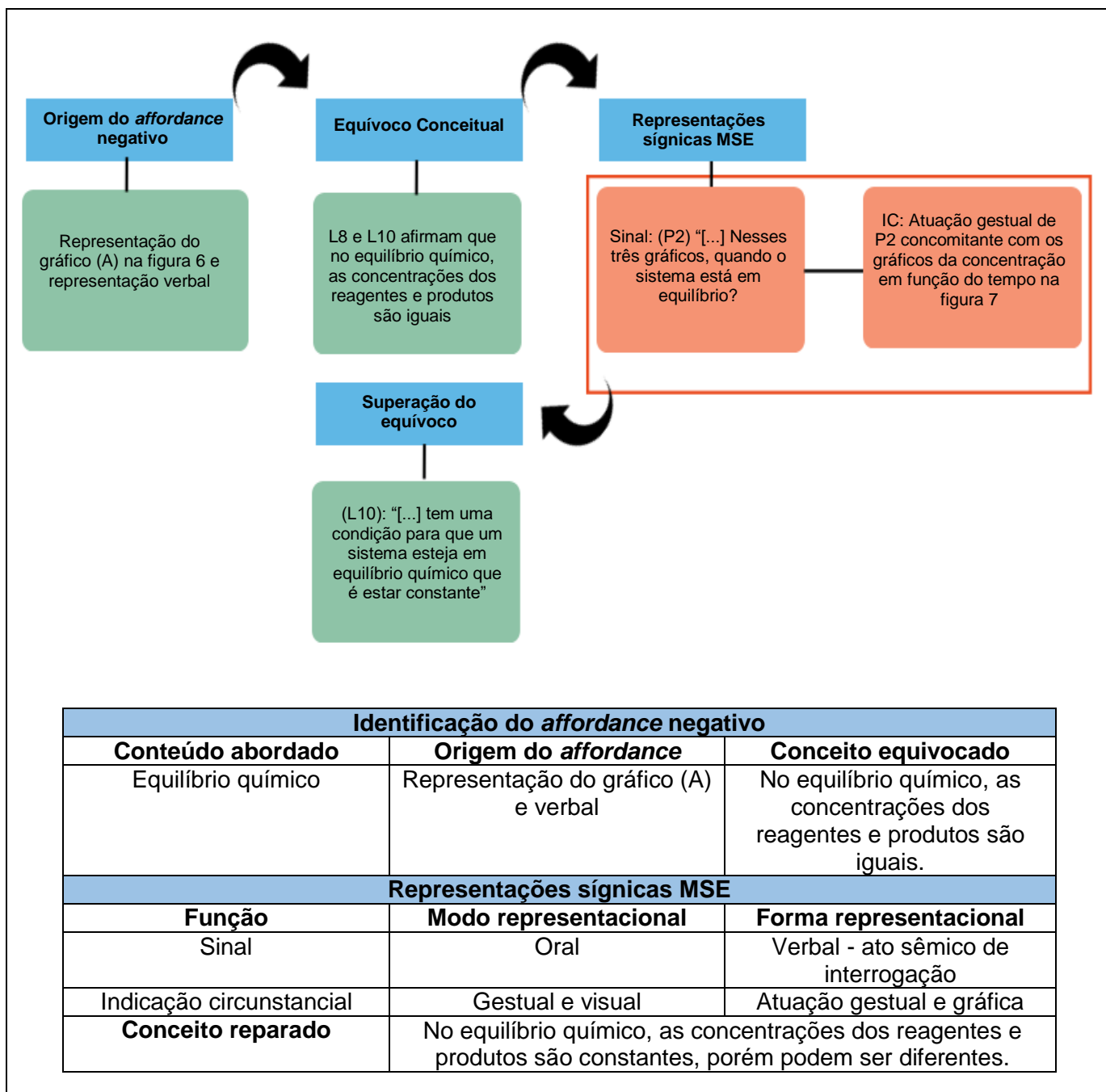
questionamentos aos estudantes por meio de signos na categoria social de interrogação – “*E quando o sistema não sofre variação na temperatura?*” – e – “*Então, antes de vocês colocarem no banho de gelo ou no banho-maria com água fervendo, será que a reação tinha parado de acontecer?*” – e, prossegue para transmitir uma informação – “[...] *uma evidência de que a reação não tinha parado*”. “[...] *não significa dizer que a reação para, pelo contrário, a reação continua ocorrendo nos dois sentidos com velocidades iguais e concentrações constantes e é isso que caracteriza um equilíbrio químico*”. Essas emissões, subsequentes ao lançamento da primeira indicação circunstancial, externalizadas por meio de atos sêmicos de interrogação e informação servem para verificar se os estudantes acompanham o raciocínio em direção ao entendimento da mensagem: no equilíbrio químico, as reações não cessam. Além disso, tem função de complementar a mensagem comunicada anteriormente. Logo, são signos caracterizados como uma segunda indicação circunstancial. Depois dessas emissões, na fala de L2 e L3, é possível verificar boa compreensão referente ao estado dinâmico do equilíbrio químico – (L2): “[...] *As reações do equilíbrio não cessam, porque o equilíbrio químico é dinâmico. Quando a velocidade da reação direta se iguala à velocidade da reação inversa, não são mais observadas variações macroscópicas no sistema, mas isso não significa que a reação para de acontecer*”; (L3): “*Não. A reação não para. Ela continua acontecendo, só que não conseguimos observar macroscopicamente o que está ocorrendo no nível submicroscópico*”.

Prosseguindo o diálogo, P2, especificamente, inquire uma explicação de L9, que inicialmente apresenta um estado de má compreensão do conceito de equilíbrio dinâmico, a fim de verificar se após realização do experimento e discussões com a classe o estudante ultrapassa o mal-entendido. Conforme explícito na afirmação de L9 – “*Eu não posso dizer que a reação para. Ela continua no sentido da reação direta e inversa. Eu sempre vou ter reagente formando produto ou produto formando reagente, ao mesmo tempo no equilíbrio*” – o licenciando apresenta uma conclusão diferente das concepções errôneas, dadas anteriormente – “*não acontece mais mudanças na reação, igual você disse, então ela para de acontecer e atinge o equilíbrio*” e “*eu acho que não tem como continuar a reação. Ela fica em equilíbrio. A reação não sai do lugar*”. Após intervenção didática, a docente confirma a interpretação correta de L9. Portanto, no fim, esse estudante atinge um estado de compreensão da coexistência dinâmica e reversibilidade do

fenômeno do equilíbrio químico.

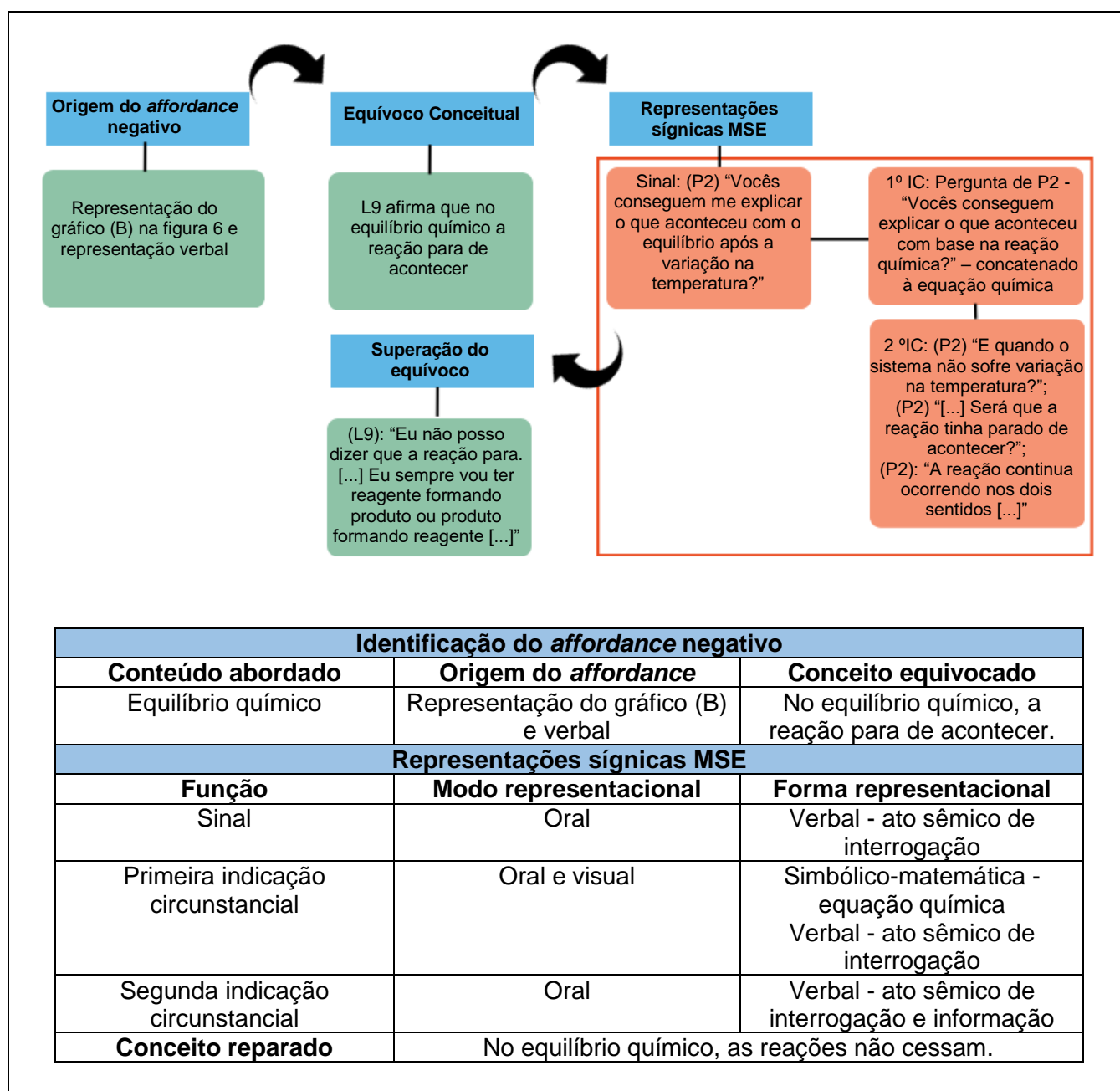
Na figura 8, apresentamos um resumo da análise da parte (1) e na figura 9, da parte (2).

Figura 8 – Esquema da análise e discussão do caso 2, parte (1)



Fonte: Autores (2021)

Figura 9 – Esquema da análise e discussão do caso 2, parte (2)



Fonte: Autores (2021)




6.3 CASO 3 – EQUÍVOCO PROCEDIMENTAL INFLUENCIADO POR *AFFORDANCE* NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO EXPERIMENTAL

Apresentação do dado

Na aula experimental 1, parte II, os estudantes observam o efeito da concentração no equilíbrio da reação do cloreto de ferro (III), FeCl_3 , com o tiocianato

de amônio, $(\text{NH}_4)\text{SCN}$. Ao adicionar duas gotas de FeCl_3 e de $(\text{NH}_4)\text{SCN}$ ao béquer, contendo 60 mL de água destilada, forma-se uma solução com coloração bastante vermelha. Admirados pela cor, L3 do grupo B, L9 do grupo C e L10 do grupo D cheiram o frasco, como podemos visualizar na figura 10.

Figura 10 – Ação procedimental incorreta dos licenciandos L3, L9 e L10

(I)	(II)	(III)
 <p>L3</p>	 <p>L9</p>	 <p>L10</p>
<p>Transcrição do diálogo:</p> <p>L9: <i>Parece aqueles xaropes de gripe bem vermelho. Que cheiro será que tem?</i> (Na sequência, L9 cheira a solução, mostrado na parte II).</p> <p>L10: <i>Para mim parece groselha.</i> (L10 cheira a solução, visto na parte III).</p> <p>L3: <i>Parece mesmo.</i> (Imediatamente, L3 cheira a solução, parte I).</p> <p>L9: <i>Sim. A professora fala, nunca cheire, mas a primeira coisa que a gente faz é cheirar.</i></p> <p>P2: <i>Pessoal, cuidado! Vocês não podem fazer isso. É extremamente perigoso. Nunca cheirem o frasco, independente da solução. Essa é uma regra de segurança que precisa ser rigorosamente obedecida no laboratório.</i></p>		

Fonte: Imagens e falas extraídas das gravações.

Discussão do dado

Ao observar a cor intensa, L9 diz – “*Parece aqueles xaropes de gripe bem vermelho. Que cheiro será que tem?*” – e, simultaneamente, cheira o béquer com a solução. Mostramos essa ação inadequada na parte (II) da figura acima. Logo em seguida, L10 afirma que a solução formada – [...] “*parece groselha*”

– e L3 concorda ao dizer – “*parece mesmo*”. Após as falas, de imediato, ambos os estudantes, L3 e L10, aspiram a solução para sentir o seu odor, visualizado nas partes (I) e (III) da figura 10.

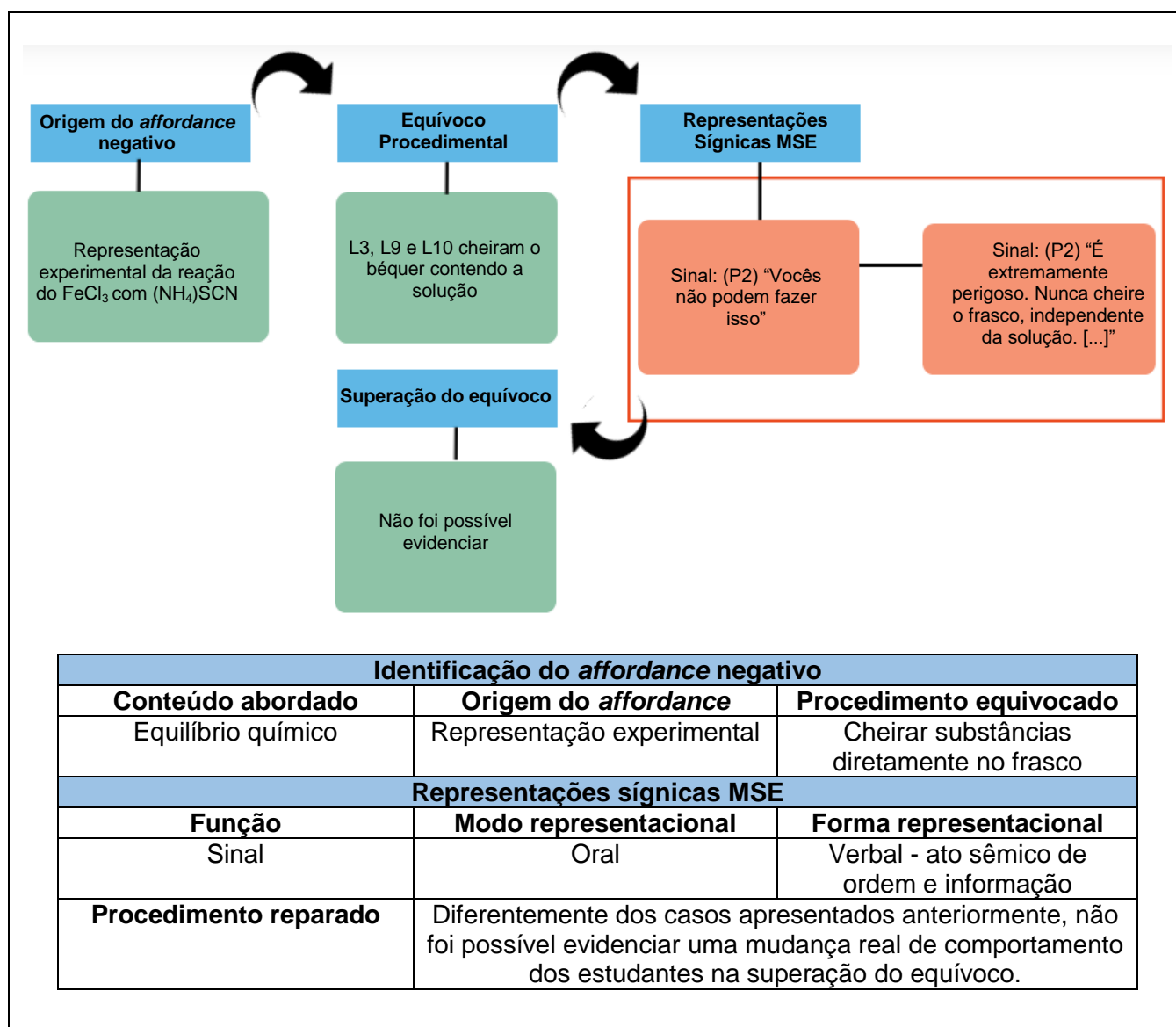
A partir da gesticulação, observamos nas cenas das filmagens as ações impróprias dos licenciandos ao aproximarem o béquer do nariz para cheirar a solução formada pela reação entre FeCl_3 e $(\text{NH}_4)\text{SCN}$. Como foi exposto anteriormente, L9 compara a cor da mistura homogênea com um xarope de gripe e L3 e L10 com o líquido de groselha. Essa associação da cor com líquidos presentes no cotidiano atrai os estudantes para o cometimento do equívoco procedimental: cheirar substâncias diretamente no frasco.

Neste caso, a característica cor da solução que lembra líquidos do dia a dia é um atrativo que leva a uma reação proibida no laboratório de química. Por isso, se apresenta como um *affordance* negativo visto impulsionar L3, L9 e L10 a uma ação procedimental inadequada e perigosa. De outra forma, a característica da coloração da solução, fortemente avermelhada que remete a produtos com odores específicos, funciona como *affordance* negativo posto que convida os aprendizes a uma ação imprópria no laboratório.

Superação do equívoco

Na aula de laboratório, ao perceber o equívoco cometido pelos estudantes, P2 através de um sinal direto na forma de ato sêmico de ordem enuncia – “*Vocês não podem fazer isso*”. E, por intermediação de um segundo sinal direto na forma de informação – “*É extramamente perigoso. Nunca cheire o frasco, independente da solução. Essa é uma regra de segurança que precisa ser rigorosamente obedecida no laboratório*” – reitera que o ato de não cheirar substâncias no laboratório é uma norma de segurança que deve ser cumprida. Como se vê, os sinais diretos transmitidos pela professora têm finalidade de levar objetividade aos estudantes para a compreensão da mensagem: não cheirar as soluções. Apesar de não promoverem uma forma de pensamento reflexivo dos estudantes, os sinais diretos, empregados pela professora no decorrer da intervenção, servem para focar a atenção deles no entendimento da mensagem. Na figura 11, mostramos o resumo deste caso.

Figura 11 – Esquema da análise e discussão do caso 3





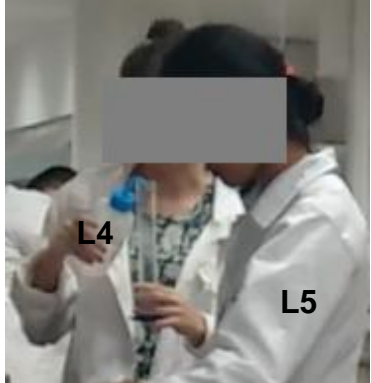
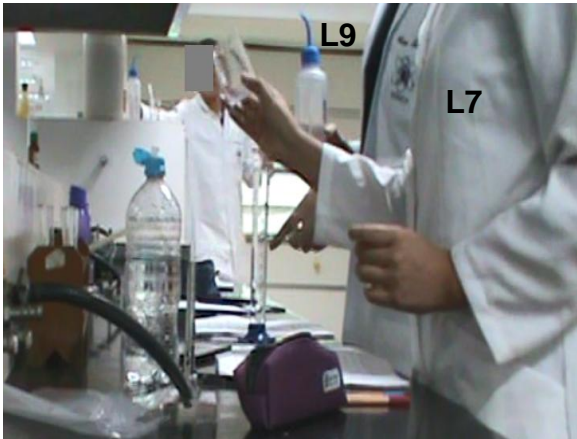
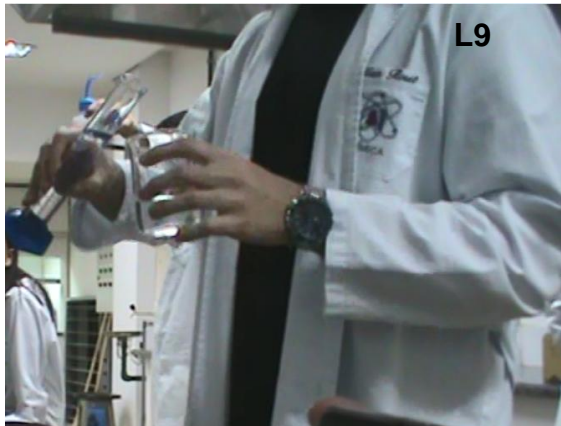
Fonte: Autores (2021)

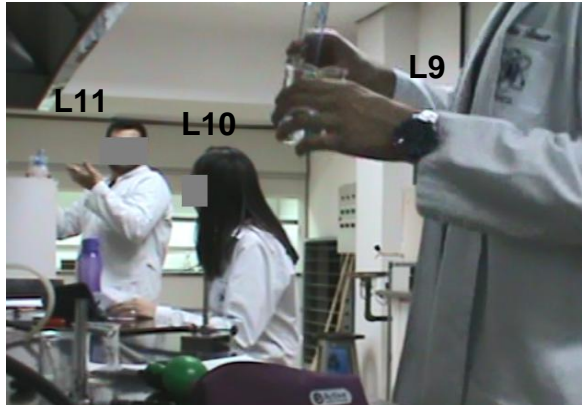
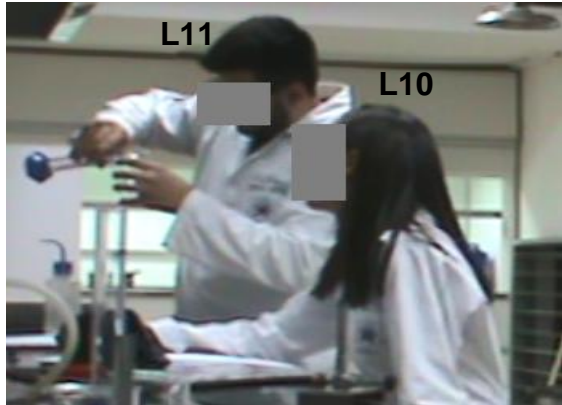
6.4 CASO 4 – EQUÍVOCO PROCEDIMENTAL INFLUENCIADO POR *AFFORDANCE* NEGATIVO NO OBJETO

Apresentação do dado

O caso, agora examinado, corrobora a evidência do *affordance* negativo do béquer mostrado no artigo de Laburú, Silva e Zômpero (2017). Para iniciar a atividade experimental 3, descrita na subseção 5.3.3, os estudantes devem medir 200 mL de água. Na figura 12, mostramos a sequência de ações dos licenciandos para realizar tal procedimento.

Figura 12 – Sequência de gesticulações dos licenciandos

Grupo B		
(I)	(II)	(III)
 <p>[L4 escolhe o béquer para medição de volume]</p>	 <p>[L4 e L5 decidem entre o béquer e a proveta para a medição (transcrição abaixo)]</p>	 <p>[L4 mede o volume do líquido com a proveta]</p>
<p>Transcrição do diálogo:</p> <p style="text-align: right;">L5: <i>Você não deveria usar a proveta?</i></p> <p style="text-align: right;">L4: <i>Será que uso a proveta?</i></p> <p style="text-align: right;">L5: <i>A proveta é mais precisa.</i></p> <p style="text-align: right;">L4: <i>Bom, acho que deve ser.</i></p>		
Grupo C		
(IV)	(V)	
 <p>[L7 pega o béquer e sugere para L9 que a medição seja realizada com esse recipiente (transcrição abaixo) e L9 aponta para a proveta].</p>	 <p>[L9 realiza a transferência de 100 mL de água para o béquer com a proveta]</p>	
<p>Transcrição do diálogo:</p> <p style="text-align: right;">L7: <u><i>Não é só medir direto no béquer?</i></u></p> <p style="text-align: right;">L9: <i>É com a proveta. Ela é mais precisa que o béquer.</i></p>		

Grupo D	
(VI)	(VII)
	
<p>[L11 aponta para o béquer e sugere a L9 medir o volume com esse recipiente (transcrição abaixo)]</p> <p>Transcrição do diálogo:</p>	<p>[L11 realiza a transferência de 100 mL de água para o béquer com a proveta]</p> <p>(Após a medição de 200 mL de água no béquer e ao perceber L9 fazendo a medição com a proveta, L11 diz):</p> <p>L11: <u>Por que você (L9) não faz a medição dos 200 mL, assim (direto no béquer)?</u></p> <p>L10: Não. Temos que medir com a proveta.</p>

Fonte: Imagens e falas extraídas das gravações

Discussão do dado

A figura 12 exhibe o mesmo equívoco procedimental praticado por L4 do grupo B, L7 do C e L11 do D. Como podemos observar, na parte (I), L4 pega o béquer. Na (II), L5 segura a proveta e discute com L4 a precisão dos artefatos. Na (III), L4 usa a proveta para a medição do volume. Na (IV), L7 do grupo C, pega o béquer e sugere para L9 que a medição seja realizada com esse recipiente. Na parte (VI), L11, do grupo D, também indica usar o béquer para medir o volume de 200 mL de água, procedimento incorreto para realizar a medida precisa.

A construção morfológica do béquer de 250 mL traz em sua marcação o volume de 200 mL. Essa marca, impressa lateralmente no recipiente, convida L4, L7 e L11 a realizarem a medição do volume desejado uma única vez. No caso da proveta graduada de 100 mL, a medição tem que ser efetuada duas vezes. O béquer é um simples recipiente que serve como medidor, o que é conveniente para os estudantes, já que reduz procedimentos, oferece maior capacidade

volumétrica para a quantidade medida e possui escala graduada para realizar medições de grandes volumes. Essas características agem como *affordance* negativo do objeto, posto que levam os licenciandos L4, L7 e L11 a cometerem um equívoco procedimental no sentido de precisão, uma vez que a escala do béquer é grosseira e imprecisa para efetuar a medida do volume de líquidos.

A grande capacidade volumétrica do béquer o torna mais atrativo e conveniente para a realização de uma única medida em vez de duas, necessárias na proveta. Isso estimula os estudantes a usarem o primeiro objeto em detrimento do segundo, considerando que eles não têm como prioridade ou não estão cientes ou não veem relevância da importância da precisão das medidas. Logo, o *affordance* negativo do béquer, justaposto à proveta, dá prioridade a uma medida menos precisa, e isso está relacionado às propriedades morfológicas desse objeto que orientam os estudantes para uma ação procedimental incorreta.

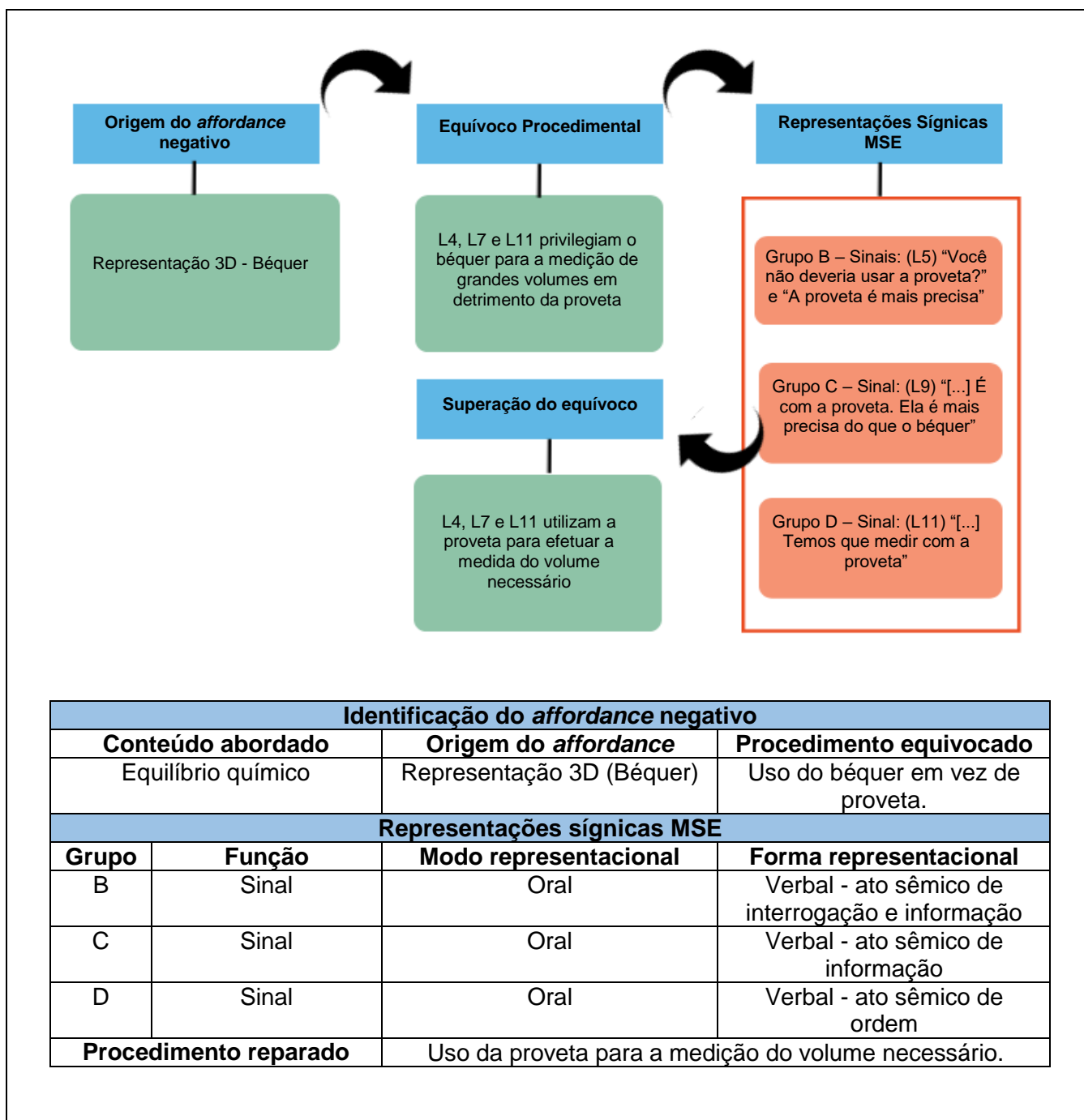
Superação do equívoco

No fim da atividade experimental, a medição do volume é realizada de forma correta, pois, rapidamente, L5, L9 e L10, dos grupos B, C e D, respectivamente, advertem os colegas de grupo que a medição deve ser feita com a proveta. Em aulas experimentais anteriores, a professora discutiu com todos da classe a precisão dos artefatos. Por esse motivo, é de conhecimento dos licenciandos L5, L9, L10 que a proveta, comparada ao béquer, é o artefato mais preciso para medir o volume necessário.

No grupo B, a ação procedimental equivocada de L4 é corrigida devido a um *insight* de precisão de L5 mediante sinais na forma de ato sêmico de interrogação – “*Você não deveria usar a proveta?*” – e informação – “*A proveta é mais precisa*”. Esses sinais diretos levam L4 a proceder corretamente, como mostrado na parte (III) da figura 12. No grupo C, L9 aponta para a proveta e através de um sinal direto – “[...] *É com a proveta. Ela é mais precisa que o béquer*” – informa a L7 que tal instrumento é o mais preciso para realizar a medida do volume necessário. No grupo D, L10, por intermédio do ato sêmico na categoria social de ordem, diz a L11 – “[...] *Temos que medir com a proveta*”. Após essa emissão, L11 reconhece a mensagem do sinal explícito e realiza o procedimento de forma correta, mostrado na parte (VII) da figura 12.

Como os dados apontam neste caso, se não advertidos antecipadamente pelos seus pares, com frequência, os alunos privilegiam o impreciso béquer para a medição de grandes volumes em detrimento da proveta, instrumento de medição mais preciso para o volume de líquidos. A seguir, mostramos na figura 13 um esquema sintético desta análise.

Figura 13 – Esquema da análise e discussão do caso 4



Fonte: Autores (2021)

6.5 CASO 5 – EQUÍVOCOS CONCEITUAIS INFLUENCIADOS POR *AFFORDANCES* NEGATIVOS NA REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICO-MATEMÁTICA

Nesta parte, analisamos três dados a fim de mostrar ocorrências de equívocos conceituais instigados por *affordances* negativos de natureza matemática.

Apresentação do dado (1)

No início da aula experimental 4, P2 escreve a reação redox no quadro, mostrada na equação química (I), para revisar os conceitos de eletroquímica.



Durante a instrução, P2 pergunta aos estudantes – “*Quem sofre oxidação e quem sofre redução, quem é o agente oxidante e o agente redutor?*” – se referindo à equação química (I). Quase de imediato, L6 responde – “O alumínio aumentou o nox, então ele ganhou elétrons, sofre oxidação, e o iodo diminuiu o nox, perdeu elétrons, sofre redução”. Ao perceber o erro conceitual cometido por L6, a professora dialoga com o estudante para esclarecer o processo de transferência de elétrons. Colocamos, abaixo, a interação discursiva ocorrida.

P2: *Você disse que o nox do alumínio aumentou. O que isso significa?*

L6: *Que ele ganhou elétrons.*

P2: *Não. A carga positiva aumentou. Isso significa que o alumínio transferiu os seus elétrons, de carga negativa, para a molécula de iodo. Quer dizer que o número de prótons na sua estrutura atômica é maior que o número de elétrons, por isso que a carga positiva aumentou.*

L6: *Eu sempre confundo isso, professora. Quando o átomo recebe elétrons ele fica com mais carga negativa e quando o átomo perde elétrons ele fica com mais prótons.*

P2: *Isso. Então, quando ocorre oxidação, aumenta o número de oxidação, o nox, e quando há redução, há diminuição do nox.*

Ainda nessa aula, no decorrer da realização da atividade experimental 4, os licenciandos do grupo C interpretam incorretamente as reações

redox. Ao notar as dificuldades dos estudantes, P2 solicita que o grupo escreva as reações de oxirredução ocorridas nos tubos de ensaio. Após isso, por meio da transcrição do áudio, é possível identificar equívocos semelhantes aos do L6, como se pode constatar pelo diálogo estabelecido.

(Conversa entre L8 e L9 do grupo C, acerca da reação redox entre magnésio e sulfato de cobre ocorrida no tubo 2).



L9: *Nesse tubo, o nox do magnésio aumenta para +2.*

L8: *Então o magnésio aumentou a carga, ele sofreu oxidação porque ganhou elétrons.*

L9: *Não. Aumentou o nox, mas diminuiu o número de elétrons, porque ele perdeu elétrons. Ele sofre oxidação. Os elétrons têm carga negativa, então se ele perdeu dois elétrons ele fica com a carga 2+, porque significa que ele tem duas cargas positivas, dois prótons a mais que os elétrons na sua estrutura atômica.*

L8: *Verdade. Então é o cobre que ganhou elétrons, porque diminuiu o nox dele, mas significa que ele ganhou elétrons, de carga negativa e, o magnésio perdeu elétrons, por isso, a carga positiva dele aumentou.*

L9: *Sim.*

Para ultrapassar o equívoco conceitual de L8, a professora vai ao grupo C para fazer explicações referentes ao processo de transferência de elétrons.

Grupo C

P2: *Pessoal. Vamos entender o que aconteceu no tubo 2. O magnésio sofreu oxidação ou redução?*

L9: *Oxidação.*

P2: *Ele sofre oxidação por que ganhou ou perdeu elétrons?*

L9: *Perdeu elétrons.*

P2: *Certo, L8?*

L8: *Sim.*

P2: *Esses elétrons perdidos foram transferidos para o cobre. E o que aconteceu com o cobre?*

L8: *Ele passou de Cu^{2+} para Cu^0 .*

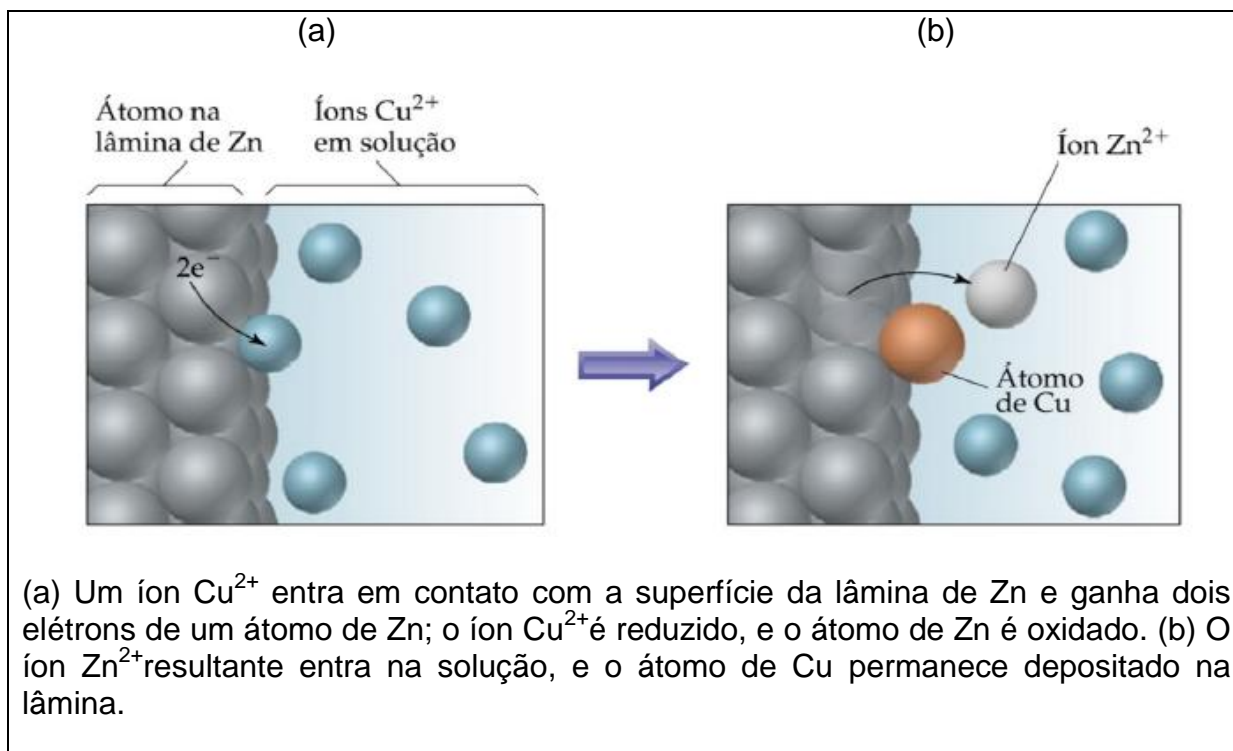
P2: *Exato. Esse fenômeno da redução dos íons cobre ficou evidente na superfície da placa metálica de magnésio. Vocês observaram a formação do cobre metálico reduzido? Está entendendo, L8?*

L8: *Sim. A solução foi perdendo um pouco a coloração azulada devido à formação do cobre metálico. O cobre tinha nox 2+. Na solução, ele recebeu 2 elétrons do magnésio, aí ele ficou com nox igual a zero. O magnésio tinha estado de oxidação zero. Como ele perdeu 2 elétrons, ele ficou com carga 2+.*

P2: *Sim. Isso mesmo. O cobre metálico formado é isso aqui, que vocês estão observando na placa. [P2 aponta para a placa metálica de magnésio].*

Continuando a discussão na intenção de verificar a compreensão por parte de mais algum receptor, a professora projeta a imagem, exibida na figura 14, para ilustrar a todos os estudantes da classe o processo de transferência de elétrons da reação redox entre zinco e sulfato de cobre do tubo 3.

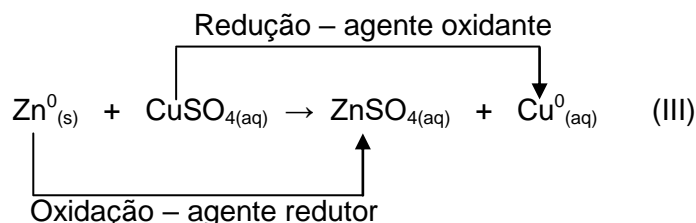
Figura 14 – Forma representacional imagética da reação entre $\text{Zn}_{(s)}$ e $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$



Fonte: BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005, p. 731

Usando a figura 14, a professora explica:

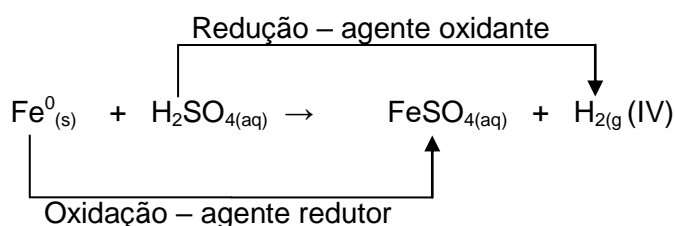
P2: Vocês viram que a reação entre o zinco e o cobre foi espontânea. Certo? Vamos entender o que aconteceu no nível atômico da reação no tubo de ensaio 3. (P2 escreve a reação no quadro e explica):



Os elétrons dos átomos de zinco são transferidos para os íons Cu^{2+} da solução. Se eles perdem elétrons, eles ficam com dois elétrons a menos. Por isso, escrevemos Zn^{2+} . Os dois elétrons, de carga negativa, são transferidos para o cobre, formando Cu^0 , que se deposita na lâmina metálica de zinco. Então, nós precisamos entender exatamente o que está acontecendo em cada tubo de ensaio. L6, agora você pode me ajudar a explicar o que ocorreu no tubo 4, na reação entre a palha de aço e o ácido sulfúrico?

L6: Tá. O ferro transfere seus elétrons para o hidrogênio, então ele perde dois elétrons e fica positivo. E o hidrogênio recebe esses elétrons e reduz, daí ele se transforma em H_2 gasoso.

(Enquanto L6 diz o que ocorre, a professora escreve a reação no quadro e diz, em seguida):



P2: Isso. Vocês puderam visualizar a formação de H_2 pelo borbulhamento produzido pelo gás. Pode prosseguir, L6.

L6: Daí, o ferro oxida, porque aumenta o nox, mas ele perdeu elétrons, o hidrogênio reduz porque diminui o nox, mas ele ganha elétrons.

Discussão do dado (1)

O aumento da carga positiva leva L6 e L8 à seguinte conclusão – (L6): “O alumínio aumentou o nox, então ele ganhou elétrons, sofre oxidação” e (L8): “Então o magnésio aumentou a carga, ele sofreu oxidação porque ganhou elétrons”. Enquanto que a diminuição da carga induz L6 à inferência – “[...] o iodo diminuiu o nox, perdeu elétrons, sofre redução”. O cometimento do equívoco conceitual: aumento do nox – ganho de elétrons e diminuição do nox – perda de elétrons, pelos

estudantes L6 e L8 é influenciado pelo *affordance* negativo referente ao simbolismo matemático. Os estudantes vinculam o sinal de menos (-) ao significado contrário, o átomo perde elétrons, e o sinal de mais (+) à relação de o átomo ganhar elétrons. Essa conexão com a matemática é um *affordance* negativo, pois sugere a L6 e L8 a uma explicação errônea, de modo intuitivo.

A interpretação de cátions, íons positivos, e ânions, íons negativos, é trivialmente fácil, contudo, no ensino de reações de oxidação e redução, os licenciandos interpretam incorretamente os números de oxidação (nox), relativo às cargas dos agentes oxidantes e redutores. Como vimos, a conexão com a matemática acontece de forma imediata, sendo o sinal de mais (+) associado com aumento e o sinal de menos (-) à diminuição. Essa relação constitui-se num *affordance* negativo para a aprendizagem de química. Na formação de íons, os sinais de mais e menos da matemática não fundamentam o fenômeno químico da transferência de elétrons. O sinal de (+) indica que o átomo perde elétrons e o sinal de (-) que o átomo os ganha.

De maneira geral, os estudantes concatenam os símbolos matemáticos às suas explicações científicas, ou seja, baseados nesses simbolismos, atribuem intuitivamente significado aos conceitos científicos subjacentes, o que prejudica a compreensão de química, mesmo para estudantes de nível superior. O sinal de “-” (menos), sobrescrito em uma representação atômica, exige que o aprendiz saiba que o átomo ganha elétrons e o sinal de “+” (mais) que o átomo perde elétrons. No entanto, como evidenciado neste caso, os estudantes de nível superior fazem confusões relacionadas aos sinais de (-) e (+) nas representações dos íons.

Superação do equívoco (1)

Ao perceber o erro conceitual de L6, a professora dialoga com o estudante para esclarecer o processo de transferência de elétrons. Primeiro, P2 lança um signo na forma de ato sêmico de interrogação – “*Você disse que o nox do alumínio aumentou, o que isso significa?*” e L6 responde, incorretamente – “*Que ele ganhou elétrons*”. O ato sêmico de interrogação de P2 não é suficiente para apontar a incoerência conceitual de L6 e levá-lo autonomamente à superação do seu erro, por isso, é característico de um sinal. Na continuidade, a professora informa – “[...]”

Não. A carga positiva aumentou. Isso significa que o alumínio transferiu os seus elétrons, de carga negativa, para a molécula de iodo. Quer dizer que o número de prótons na sua estrutura atômica é maior que o número de elétrons, por isso que a carga positiva aumentou". Após essa emissão, L6 afirma – “[...] *Quando o átomo recebe elétrons ele fica com mais carga negativa e quando o átomo perde elétrons ele fica com mais prótons*". Com isso, mostramos que mediante um segundo sinal direto expresso por P2 na forma de ato sêmico de informação, L6 é dirigido a um estado de compreensão acerca do número de oxidação. Contudo, observa-se que o ato sêmico de tipo informação assume função de sinal devido à objetividade da mensagem comunicada e por não provocar maior reflexão nos estudantes acerca do equívoco conceitual de L6. Além disso, é qualificado como sinal por minimizar a tomada de consciência dos aprendizes para que os mesmos compreendam independentemente a contradição feita por L6.

No grupo C, L9 corrige L8, por meio do sinal na forma de ato sêmico de informação – (L9): “[...] *Aumentou o nox, mas diminuiu o número de elétrons, porque ele perdeu elétrons. Ele sofre oxidação. Os elétrons têm carga negativa, então se ele perdeu dois elétrons ele fica com a carga 2+, porque significa que ele tem duas cargas positivas, dois prótons a mais que os elétrons na sua estrutura atômica*". Depois da emissão desse sinal, L8 se retifica através da fala – “*Verdade. Então é o cobre que ganhou elétrons. Porque diminuiu o nox dele, mas significa que ele ganhou elétrons, de carga negativa, e o magnésio perdeu elétrons e, por isso, a carga positiva dele aumentou*” –, uma demonstração de entendimento da mensagem científica transmitida diretamente por L9: aumento do número de oxidação, perda de elétrons e, diminuição do número de oxidação, ganho de elétrons.

No sentido de reforçar a compreensão da mensagem transmitida inicialmente por L9, P2 inquiriu explicações dos licenciandos do grupo C a respeito da transformação química entre o magnésio e sulfato de cobre, ocorrida no tubo 2 – “[...] *O magnésio sofreu oxidação ou redução?*”; “*Ele sofre oxidação porque ganhou ou perdeu elétrons?*”; “[...] *E o que aconteceu com o cobre?*”; “[...] *Vocês observaram a formação do cobre metálico reduzido? [...]*”. Ao fazer esses questionamentos, P2 busca mostrar aos estudantes a conexão direta entre a reação química, subjacente ao experimento, e o fenômeno químico observável, que ocorre à frente dos estudantes. Portanto, os atos sêmicos de interrogação, juntamente com o experimento da reação redox do tubo 2, são signos com função de indicação

circunstancial, visto que complementam e auxiliam a mensagem do sinal transmitido por L9.

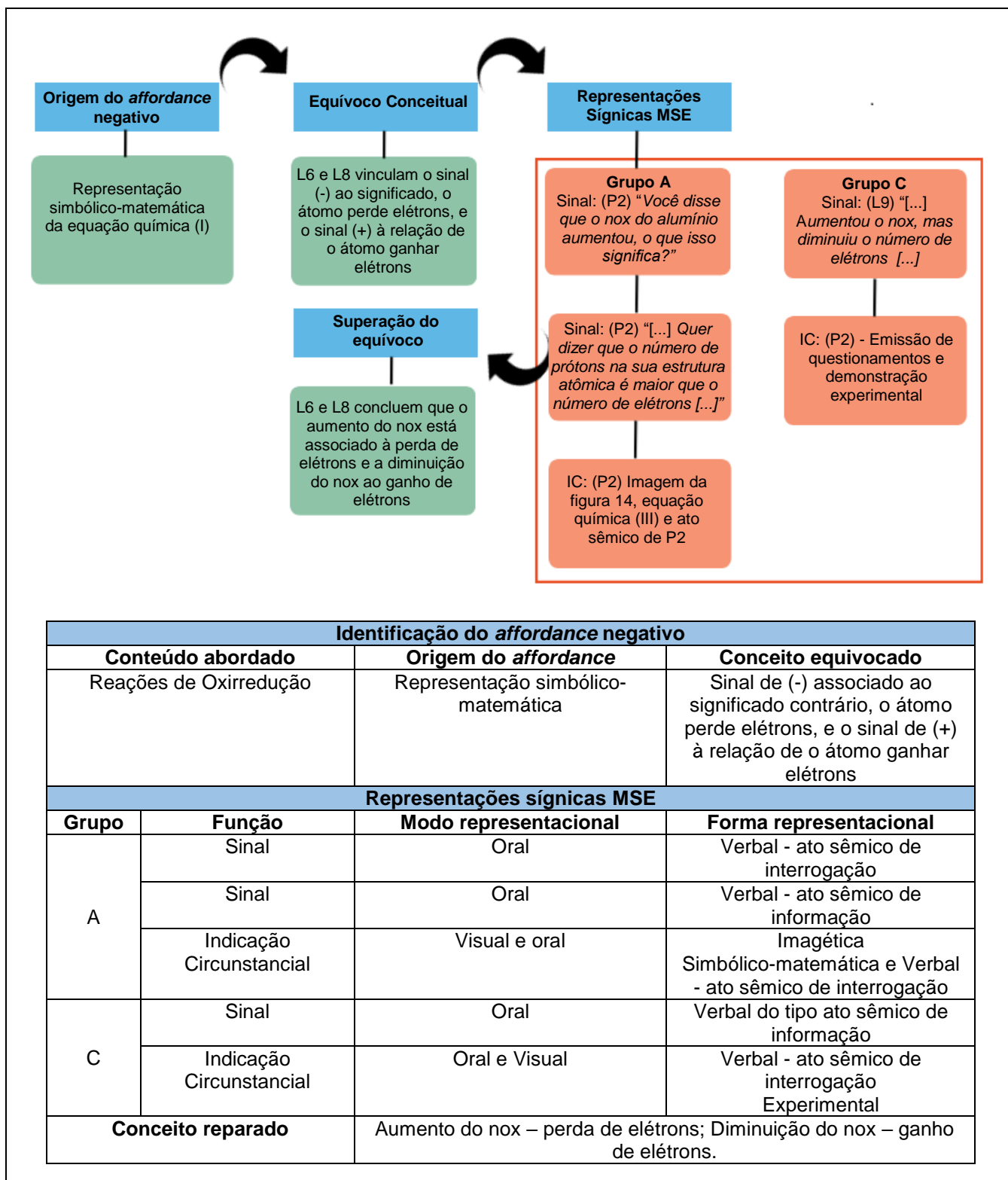
No início, L8 demonstra má compreensão – *aumenta a carga, ganha elétrons* – da mensagem científica. Porém, após a emissão das indicações circunstanciais na forma dos questionamentos, relacionados à observação experimental, L8 compreende o fenômeno químico, mostrado por sua fala – *“A solução foi perdendo um pouco a coloração azulada devido à formação do cobre metálico. O cobre tinha nox 2+. Na solução, ele recebeu 2 elétrons do magnésio, aí ele ficou com nox igual a zero. O magnésio tinha estado de oxidação zero. Como ele perdeu 2 elétrons, ele ficou com carga 2+”*. Mostramos que a incorreção do conceito de nox de L8 foi corrigida, inicialmente, por meio da transmissão de um sinal direto emitido por seu colega de grupo, L9, e, depois, pela professora, mediante as emissões das indicações circunstanciais durante o diálogo.

Dando sequência, ao fazer uso da imagem exposta na figura 14, P2 explica o processo de transferência de elétrons que ocorre entre o zinco e o sulfato de cobre no tubo 3. Com a forma representacional imagética, amparada pela equação química (III), P2 confia que essas representações sígnicas orientem os estudantes ao entendimento da mensagem: aumento do nox – perda de elétrons, diminuição do nox – ganho de elétrons. Essa conclusão conceitual fica demonstrada na fala de L6 ao referir-se à reação química entre o ferro e o ácido sulfúrico, ocorrida no tubo 4 – *“O ferro oxida, porque aumenta o nox, mas ele perdeu elétrons, o hidrogênio reduz porque diminui o nox, mas ele ganha elétrons”*.

A explicitação da imagem e equação química (III), em conjunto dos atos sêmicos de interrogação de P2 – *“Vocês viram que a reação entre o zinco e o cobre foi espontânea. Certo? Vamos entender o que aconteceu no nível atômico da reação no tubo de ensaio 3.”*; *“Os elétrons do átomo de zinco são transferidos para os íons Cu^{2+} da solução, ou seja, eles perderam elétrons. Se eles perdem elétrons, eles ficam com dois elétrons a menos. Por isso, escrevemos Zn^{2+} . Os dois elétrons, de carga negativa, são transferidos para o cobre, formando Cu^0 , que se deposita na lâmina metálica.”* – funcionam como indicações circunstanciais, pois auxiliam e contextualizam o entendimento do fenômeno químico pelos estudantes. Dessa forma, ao fazer uso de signos com função de indicações circunstanciais, expressos por meio da representação imagética (Figura 14), acompanhada da equação química (III) escrita no quadro e dos atos sêmicos de tipo interrogação, P2 confirma

a superação do erro cometido por L6 no início da aula. Na figura 15, temos um resumo deste caso.

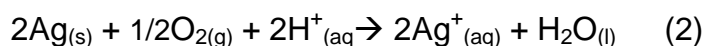
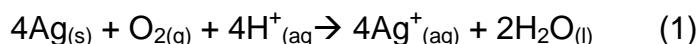
Figura 15 – Esquema da análise e discussão do caso 5, parte (1)



Fonte: Autores (2021)

Apresentação do dado (2)

Ainda na aula 4, P2 faz o seguinte exercício com toda a classe para revisar os conceitos já estudados em aulas precedentes – Calcule a variação da energia livre de Gibbs das reações químicas das células voltaicas (1) e (2):



Após a realização dos cálculos, ocorre a seguinte interação dialógica:

P2: “A célula (1) tem ΔG igual a -170 kJ/mol e a (2) ΔG igual a, aproximadamente, -82 kJ/mol. Qual das duas células voltaicas tem maior energia livre de Gibbs?”

(Vários estudantes respondem juntos que é a pilha cuja energia livre é de -82 kJ/mol).

P2: *Pessoal, na matemática, -82 kJ/mol é maior do que -170 kJ/mol, porém, na química, quanto mais negativo, maior a energia livre disponível para a realização de trabalho. Então, a ordem da grandeza de ΔG também é significativa. Certo?*

L7: *Mas, professora, mesmo que o número seja negativo quer dizer que o -170 kJ/mol significa que a reação terá maior energia livre?*

P2: *Exatamente. Quanto mais negativo, maior a energia livre de Gibbs disponível para a realização de trabalho.*

Discussão do dado (2)

A resposta, enunciada por vários estudantes, de que a célula voltaica com maior energia livre de Gibbs é a pilha cujo ΔG é igual a -82 kJ/mol e a dúvida de L7 – “[...] mesmo que o número seja negativo quer dizer que o -170 kJ/mol significa que a reação terá maior energia livre?” – são instigadas pelo *affordance* negativo, associado ao sinal de menos e grandeza de ΔG . Tais elementos levam os estudantes ao cometimento do equívoco conceitual: a pilha cuja energia livre é -82 kJ/mol tem maior energia livre de Gibbs, pois é numericamente maior que -170 kJ/mol.

O *affordance* negativo é justificado pelo fato de que o valor numérico negativo induz os estudantes à interpretação indesejada: mais negativo, é um número menor e, conseqüentemente, o sistema tem menos força para a formação de produtos no sentido direto. Logo, a reação tem menor energia livre. Ou, menos negativo é um número maior. Logo, a reação tem maior ΔG . Porém, ao contrário, o valor mais negativo de ΔG , no caso -170 kJ/mol , indica maior força diretora para a formação de produtos no sentido direto das reações químicas. Por isso, evidenciamos que o sinal e grandeza de ΔG funcionam como *affordance* negativo, pois devido à conexão com a matemática convidam os estudantes ao erro.

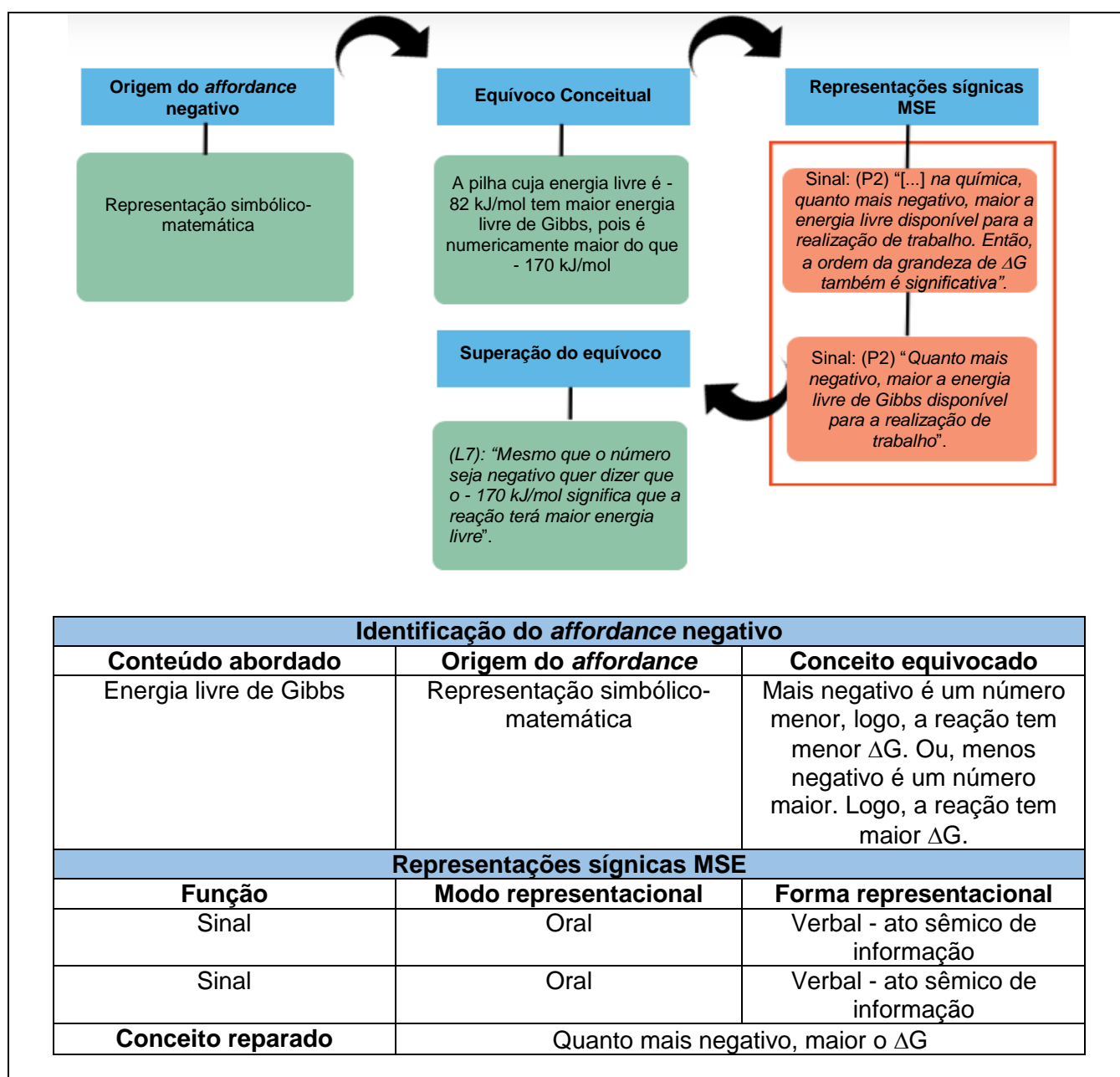
Superação do equívoco (2)

Primeiramente, P2 corrige L7 e os outros estudantes que se manifestaram, através do sinal direto na forma de ato sêmico de informação – “[...] *na matemática, -82 kJ/mol é maior do que -170 kJ/mol , porém, na química, quanto mais negativo, maior a energia livre disponível para a realização de trabalho. Então, a ordem da grandeza de ΔG também é significativa*”. Após a transmissão dessa mensagem, L7 pergunta – “*Mas, professora, mesmo que o número seja negativo quer dizer que o -170 kJ/mol significa que a reação terá maior energia livre?*”. Esse questionamento mostra que L7, apesar da dúvida, compreende que quanto mais negativo, maior o ΔG . Nesse instante, a professora percebe que o raciocínio do licenciando estava sendo direcionado para a mensagem correta do conceito. Prosseguindo, P2 reforça a mensagem, subsidiada pela transmissão direta de um segundo sinal na categoria social do ato sêmico de informação – “*Exatamente. Quanto mais negativo, maior a energia livre de Gibbs disponível para a realização de trabalho*”.

Então, para solucionar a dúvida dos estudantes e levá-los a um estado de compreensão, a professora lança sinais na forma de atos sêmicos de tipo informação de maneira expositiva, para explicitar que a grandeza de ΔG nos informa se uma mistura de reagentes e produtos, cada um deles presente sob condições-padrão, reagiria espontaneamente no sentido direto para produzir mais produtos ($\Delta G < 0$) ou no sentido inverso para formar mais reagentes ($\Delta G > 0$) (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). Apesar de constatarmos boa compreensão de L7 da mensagem

transmitida, destacamos que os signos encaminhados por P2 assumem função de sinais, pois restringem a estimulação cognitiva dos estudantes para um entendimento potencializado do conceito de energia livre de Gibbs. Sintetizamos a análise deste caso na figura 16.

Figura 16 – Esquema da análise e discussão do caso 5, parte (2)



Fonte: Autores (2021)

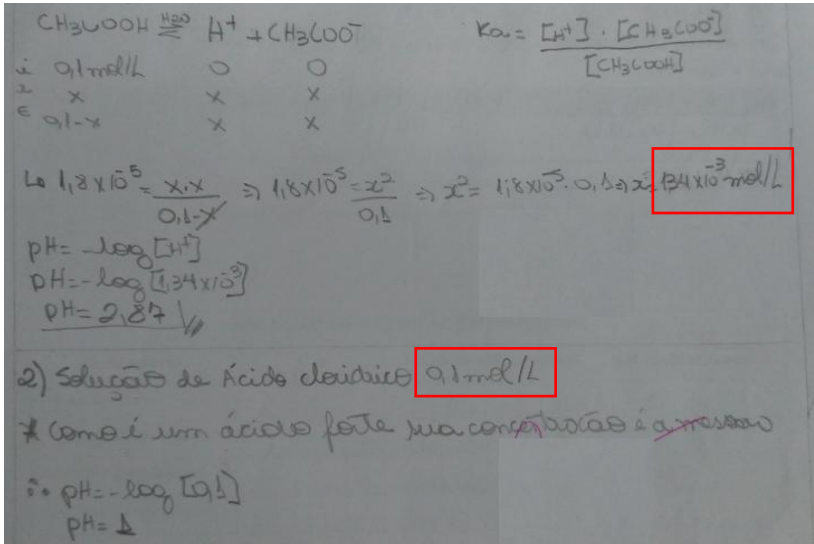
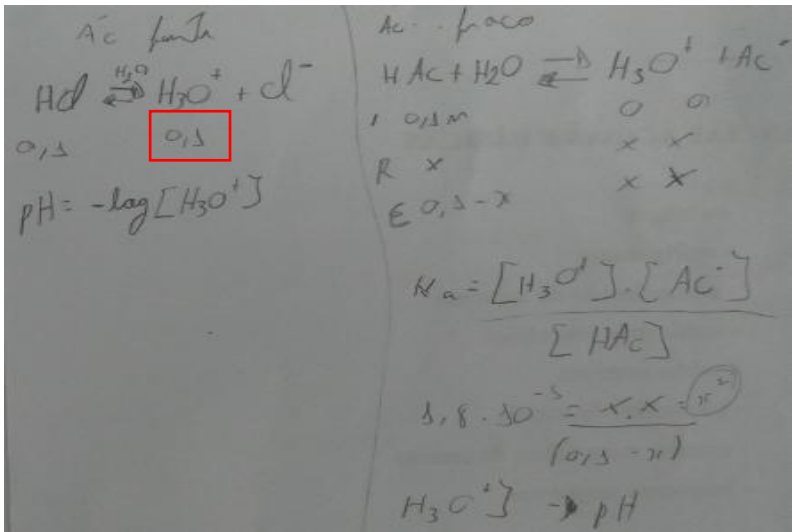
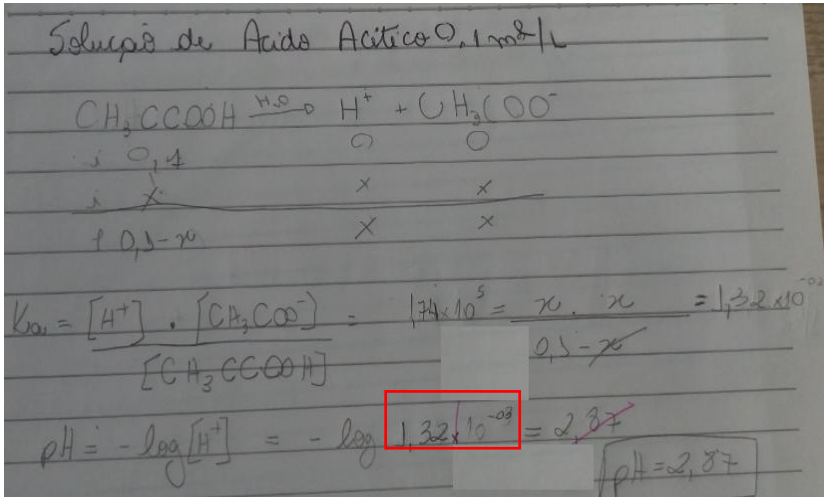
Apresentação do dado (3)

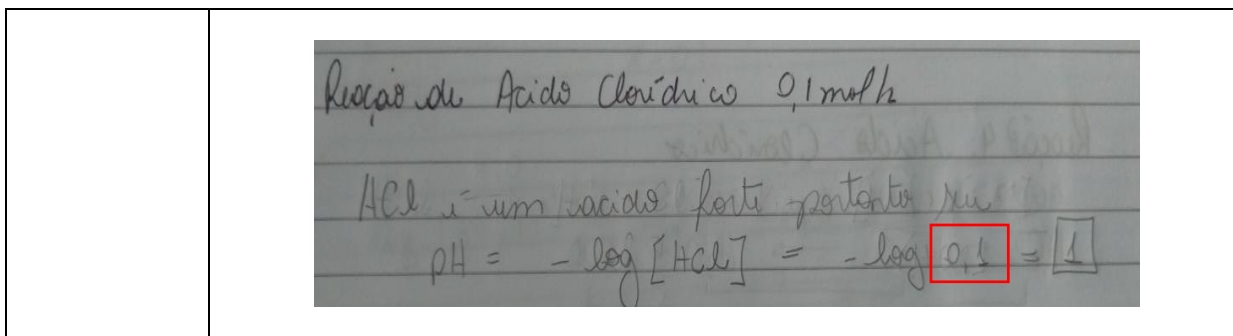
O caso, agora retratado, trata-se da atividade experimental 2, na qual os estudantes medem e avaliam o pH de várias substâncias em meio aquoso, usando indicadores ácido-base e potenciômetro.

Após explicação do conteúdo e realização do experimento, P2 anota no quadro os valores do pH do ácido acético (CH_3COOH - 0,1 mol/L) igual a 2,62 e do ácido clorídrico (HCl - 0,1 mol/L) igual a 0,87, obtidos a partir do potenciômetro. Em seguida, pergunta aos estudantes – “*Quais das soluções, ácido acético ou ácido clorídrico, nas mesmas concentrações (0,1 mol/L), apresentam maior concentração de íons H_3O^+ ?*”. Simultaneamente, alguns licenciandos respondem, através do modo falado, que “a solução de ácido acético, por apresentar maior valor de pH, tem maior concentração de íons H_3O^+ ”.

Antes de realizar os cálculos matemáticos para mostrar os valores das concentrações de $\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$ obtidos a partir do potenciômetro, P2 solicita que os estudantes determinem os valores do pH teórico das soluções de ácido acético e ácido clorídrico. Os procedimentos para os cálculos são previamente conhecidos pelos licenciandos. Na figura 17, mostramos os resultados das operações matemáticas efetuadas pelos estudantes dos grupos A, B e D para estimar o pH. Os estudantes do grupo C não realizaram a atividade solicitada pela professora.

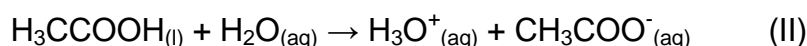
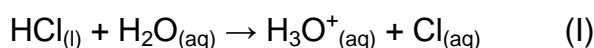
Figura 17 – Cálculo do pH teórico do HCl e CH₃COOH efetuado pelos licenciandos dos grupos A, B e D

<p>Grupo A</p>	 <p> $\text{CH}_3\text{COOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$ </p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>i</td> <td>0,1 mol/L</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>0,1-x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </table> <p> $K_a = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ </p> <p> $1,8 \times 10^{-5} = \frac{x \cdot x}{0,1-x} \Rightarrow 1,8 \times 10^{-5} = \frac{x^2}{0,1} \Rightarrow x^2 = 1,8 \times 10^{-5} \cdot 0,1 \Rightarrow x = 1,34 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ </p> <p> $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ $\text{pH} = -\log[1,34 \times 10^{-3}]$ $\text{pH} = 2,87$ </p> <p>2) Solução de Ácido clorídrico 0,1 mol/L</p> <p>* Como é um ácido forte sua concentração é a mesma</p> <p>∴ $\text{pH} = -\log[0,1]$ $\text{pH} = 1$ </p>	i	0,1 mol/L	0	0	x	x	x	x	e	0,1-x	x	x												
i	0,1 mol/L	0	0																						
x	x	x	x																						
e	0,1-x	x	x																						
<p>Grupo B</p>	 <p> $\text{HCl} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$ </p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>i</td> <td>0,1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>0,1-x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </table> <p> $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ </p> <p> $\text{pH} = 1$ </p> <p>Ac. fraco</p> <p> $\text{HAc} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Ac}^-$ </p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>i</td> <td>0,1 M</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>0,1-x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </table> <p> $K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]}$ </p> <p> $1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{x \cdot x}{(0,1-x)}$ </p> <p> $\text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{pH}$ </p>	i	0,1	0	0	x	x	x	x	e	0,1-x	x	x	i	0,1 M	0	0	x	x	x	x	e	0,1-x	x	x
i	0,1	0	0																						
x	x	x	x																						
e	0,1-x	x	x																						
i	0,1 M	0	0																						
x	x	x	x																						
e	0,1-x	x	x																						
<p>Grupo D</p>	 <p>Solução de Ácido Acético 0,1 mol/L</p> <p> $\text{CH}_3\text{CCOOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{H}^+ + \text{CH}_3(\text{COO}^-)$ </p> <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>i</td> <td>0,1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>e</td> <td>0,1-x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> </table> <p> $K_{a1} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{CCOOH}]}$ </p> <p> $1,8 \times 10^{-5} = \frac{x \cdot x}{0,1-x}$ </p> <p> $\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log[1,32 \times 10^{-3}] = 2,87$ </p> <p>$\text{pH} = 2,87$</p>	i	0,1	0	0	x	x	x	x	e	0,1-x	x	x												
i	0,1	0	0																						
x	x	x	x																						
e	0,1-x	x	x																						



Fonte: Imagens extraídas do caderno e fichas de atividades dos estudantes

Para discutir os valores encontrados pelos licenciandos, P2 escreve as reações químicas (I) e (II) no quadro.



Depois, a interação discursiva ocorre a seguir:

P2: Pessoal, no cálculo do pH do HCl, podemos considerar a concentração de H_3O^+ igual a 0,1 mol/L, porém, no ácido acético, quantos de H^+ ionizou?

L2: Apenas $1,34 \cdot 10^{-3}$ mol/L.

P2: Então, o que podemos concluir?

L2: O ácido acético é bem menos ácido do que o HCl, porque a concentração de íons H_3O^+ é muito menor.

P2: Isso, mas precisamos levar em consideração o equilíbrio químico estabelecido na solução de ácido clorídrico e na solução de ácido acético. Precisamos nos atentar para as constantes de equilíbrio de acidez. Então, por exemplo, como a constante de acidez do HCl é muito alta, consideramos que a reação está 100% ionizada. Com isso, aumenta a concentração dos íons H^+ ionizados na solução e, conseqüentemente, quanto menor o pH, mais ácida é a solução. Ou seja, praticamente, a solução de HCl 0,1 mol/L encontra-se 100% ionizada em íons H^+ com concentração, aproximadamente, igual a 0,1 mol/L e íons Cl^- com mesma concentração, 0,1 mol/L. Por isso que, como o cálculo do pH depende da concentração dos íons H^+ , vocês calcularam o pH com base nesse valor de 0,1 mol/L. Isso precisa ficar muito claro. Com relação ao ácido acético, diferentemente, ele possui uma constante de acidez, aproximadamente igual a $1,8 \cdot 10^{-5}$, por isso não podemos considerar que a solução de ácido acético se encontra totalmente ionizada, como o HCl. Pelo contrário, vocês fizeram os cálculos para descobrirem teoricamente qual a concentração de íons H^+ ionizados

na solução aquosa e daí vocês chegaram no valor teórico de $1,34 \cdot 10^{-3}$ mol/L. Esse valor é muito menor do que 0,1 mol/L do H^+ , proveniente do HCl. Logo, já podemos concluir, com base na constante de acidez, que o ácido acético é muito menos ácido do que o HCl e maior o seu pH. Concluindo, a partir do conceito de equilíbrio, determinamos a extensão com que uma solução se ioniza ou dissocia. Por isso, podemos usar a relação: maior constante de acidez, maior a força do ácido e, conseqüentemente, menor o pH. O pH do HCl deu 1 e do H_3CCOOH , 2,87. Porém, como eu disse, esses valores são teóricos.

(Para finalizar, a professora faz os cálculos no quadro, com os valores de pH do $HCl_{(aq)}$ e $H_3CCOOH_{(aq)}$, respectivamente iguais a 0,87 e 2,62, obtidos a partir do potenciômetro, aplicando diretamente a fórmula de pH e, dando continuidade ao diálogo, prossegue).

P2: Pelos valores de pH obtidos a partir do potenciômetro, a concentração de H^+ ionizados da solução de ácido acético é igual a $2,4 \cdot 10^{-3}$ mol/L e a concentração de íons H^+ da solução de ácido clorídrico, 0,134 mol/L. Ou seja, a concentração de íons H^+ da solução de HCl é maior. Logo, menor o pH do HCl, mais ácido.

Discussão do dado (3)

Neste caso, evidenciamos mais um exemplo de conclusão conceitual incorreta influenciada pelo *affordance* negativo de natureza matemática. Como constatado pela professora, para vários estudantes – “a solução de ácido acético por apresentar maior valor de pH tem maior concentração de íons H_3O^+ ”. O vínculo conceitual com a matemática leva, espontaneamente, os estudantes à resposta incorreta: maior valor numérico de pH, maior concentração de íons H_3O^+ . Ou seja, ao serem indagados por P2 – “Quais das soluções, ácido acético ou ácido clorídrico, nas mesmas concentrações (0,1 mol/L), apresentam maior concentração de íons H_3O^+ ?” – a relação conceitual equivocada é quase imediata devido ao *affordance* negativo ocasionado pelo valor numérico do pH. Com isso, evidenciamos um estado de má compreensão de vários estudantes do conceito tratado.

O valor do potencial hidrogeniônico, pH, é obtido a partir da equação ($pH = -\log [H_3O^+]$). Nessa fórmula matemática, quanto maior o valor de pH menor a concentração de íons H_3O^+ . Entretanto, devido ao *affordance* negativo ligado ao número, os estudantes são sugestionados a concluir que a concentração de íons H_3O^+ é maior quanto maior o valor numérico do pH.

Superação do equívoco (3)

Com a atividade dos cálculos do pH teórico do HCl e H₃CCOOH, efetuada pelos licenciandos, exibida na figura 17, P2 tem o propósito de fazer com que eles notem o equívoco. Para a realização dos cálculos do pH, os estudantes consideram a concentração de íons H₃O⁺ provenientes da ionização do ácido acético, igual a $1,34 \cdot 10^{-3}$ mol/L e a do ácido clorídrico igual a 0,1 mol/L. Como fica comprovado pelas operações matemáticas feitas pelos estudantes dos grupos A, B e D, na figura 17, verificamos que eles compreendem que o HCl é um ácido forte e o H₃CCOOH, um ácido fraco, pois a maneira de realizar os cálculos se difere de acordo com a força dos ácidos. Ou seja, ao procederem corretamente, os estudantes demonstram saber que o HCl é um ácido forte e que o H₃CCOOH é um ácido fraco, apesar do cometimento do erro conceitual instigado pelo *affordance* negativo.

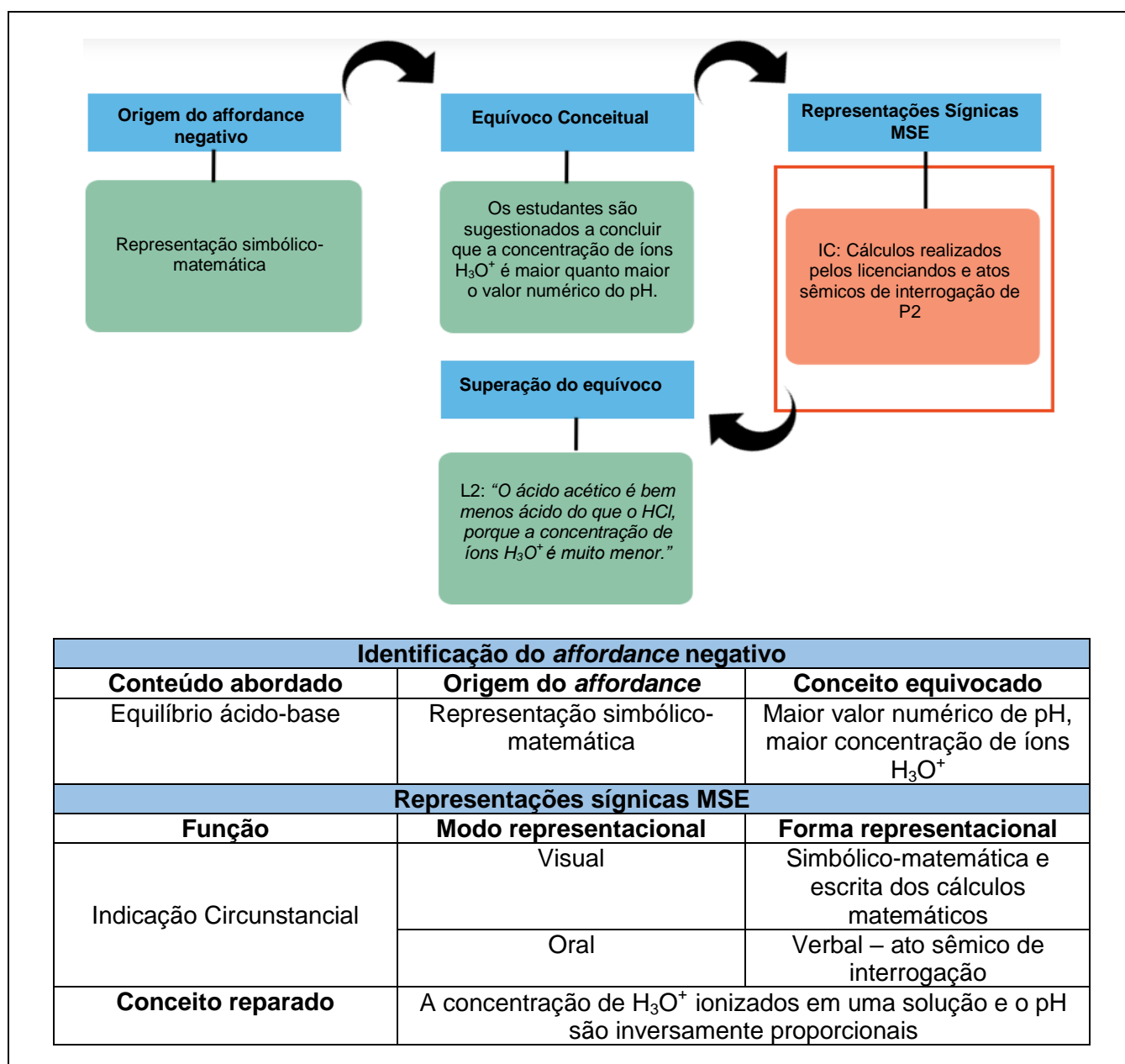
Realizados os cálculos, P2 frisa a diferença de ionização dos dois ácidos ao questionar – “Pessoal, no cálculo do pH do HCl podemos considerar a concentração de H₃O⁺ igual a 0,1 mol/L, porém no ácido acético, quantos de H⁺ ionizou?” e “[...] Então, o que podemos concluir?”. Em vez de fornecer uma resposta direta para explicar a contradição conceitual ocorrida, P2 pede para que os estudantes façam os cálculos da concentração de íons H₃O⁺ e, seguidamente, mediante ato sêmico de interrogação, faz alguns questionamentos a fim de indicar aos estudantes o erro praticado. Após isso, L2 se manifesta para afirmar que – “O ácido acético é bem menos ácido do que o HCl, porque a concentração de íons H₃O⁺ é muito menor” – uma interpretação que demonstra um estado de compreensão da mensagem científica comunicada pela professora. Uma vez que, houve um estudante que chegou independentemente à compreensão pretendida por P2, afirmamos que os cálculos realizados pelos licenciandos e atos sêmicos de interrogação de P2, funcionam como signos com função de indicação circunstancial. Além disso, tal classificação é realizada pois os signos expressos na forma escrita dos cálculos e na forma verbal expressa por P2 dão pistas a L2 da contradição especificada, direcionando-o ao entendimento desejado.

Prosseguindo o ato dialógico, a professora demonstra que, quanto maior o valor numérico do pH menor a concentração de H₃O⁺ e, por isso, menos ácido. Ao contrário, quanto menor o valor de pH, maior a concentração de H₃O⁺ e,

consequentemente, mais ácido. Selecionamos alguns excertos da fala de P2 para mostrar que, por meio de sinais expressos na forma de atos sêmicos de informação, a professora deixa evidente que a concentração de H_3O^+ ionizados em uma solução e o pH são inversamente proporcionais. São estes sinais – “[...] *aumenta a concentração dos íons H^+ ionizados na solução e, consequentemente, menor o pH, mais ácida é a solução; [...] o ácido acético é muito menos ácido do que o HCl e maior o seu pH; [...] maior a força do ácido e, consequentemente, menor o pH; [...] a concentração de íons H^+ da solução de HCl é maior. Logo, menor o pH do HCl, mais ácido*”. Basicamente, com essas emissões a professora busca direcionar os estudantes ao entendimento da mensagem de que a concentração dos íons H_3O^+ ionizados na solução de $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ é maior do que a concentração de íons H_3O^+ da solução de $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$.

Apesar de o equívoco conceitual ser de fácil retificação, P2 aproveita a situação para passar uma informação aos estudantes de que a constante de ionização de ácido informa a extensão da reação do equilíbrio na solução e, dessa forma, influencia o valor do pH e a força de acidez das soluções. A categoria social de informação também é mostrada nos seguintes excertos do diálogo – (P2): “*Precisamos nos atentar para as constantes de equilíbrio de acidez. Então, por exemplo, como a constante de acidez do HCl é muita alta, consideramos que a reação está 100% ionizada, com isso aumenta a concentração dos íons H^+ ionizados na solução e, consequentemente menor o pH, mais ácida é a solução*”. [...] *Com relação ao ácido acético, diferentemente, ele possui uma constante de acidez, aproximadamente igual a $1,8 \cdot 10^{-5}$, por isso não podemos considerar que a solução de ácido acético se encontra totalmente ionizada, como o HCl*”. Sendo assim, a professora se valeu da ocorrência do erro para transmitir, através de sinais diretos, que as concentrações de íons H_3O^+ na solução são dependentes da constante de acidez, discussão importante para a aprendizagem do conceito de pH. Contudo, o emprego desses sinais, após o lançamento da indicação circunstancial, não deu abertura durante o diálogo para que os aprendizes se manifestassem a respeito da problemática. Na figura 18, colocamos um esquema para sintetizar a discussão aqui realizada.

Figura 18 – Esquema da análise e discussão do caso 5, parte (3)



Fonte: Autores (2021)

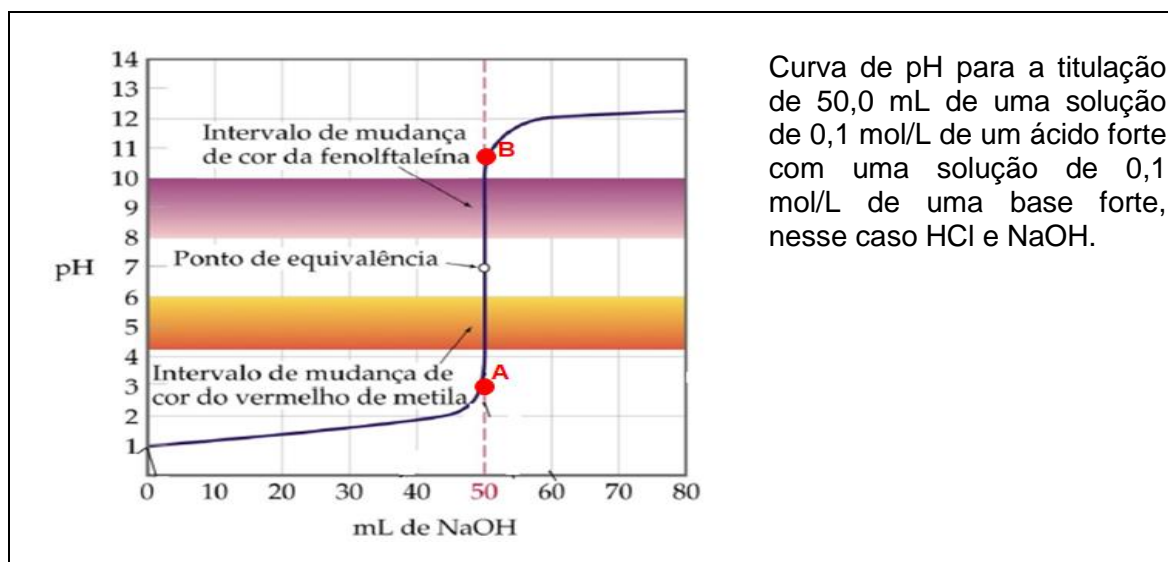
6.6 CASO 6 – EQUÍVOCO CONCEITUAL INFLUENCIADO POR *AFFORDANCE* NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

Apresentação do dado

No término da aula experimental 3, P2 inicia a explicação acerca de titulação. A professora informa que, numa titulação ácido-base, os indicadores são utilizados para indicar o ponto de equivalência, ponto no qual a quantidade

estequiométrica de ácido é equivalente à da base. Na figura 19, mostramos o gráfico exibido pela professora durante a apresentação de *slides*.

Figura 19 – Forma representacional gráfica da curva de titulação ácido-base

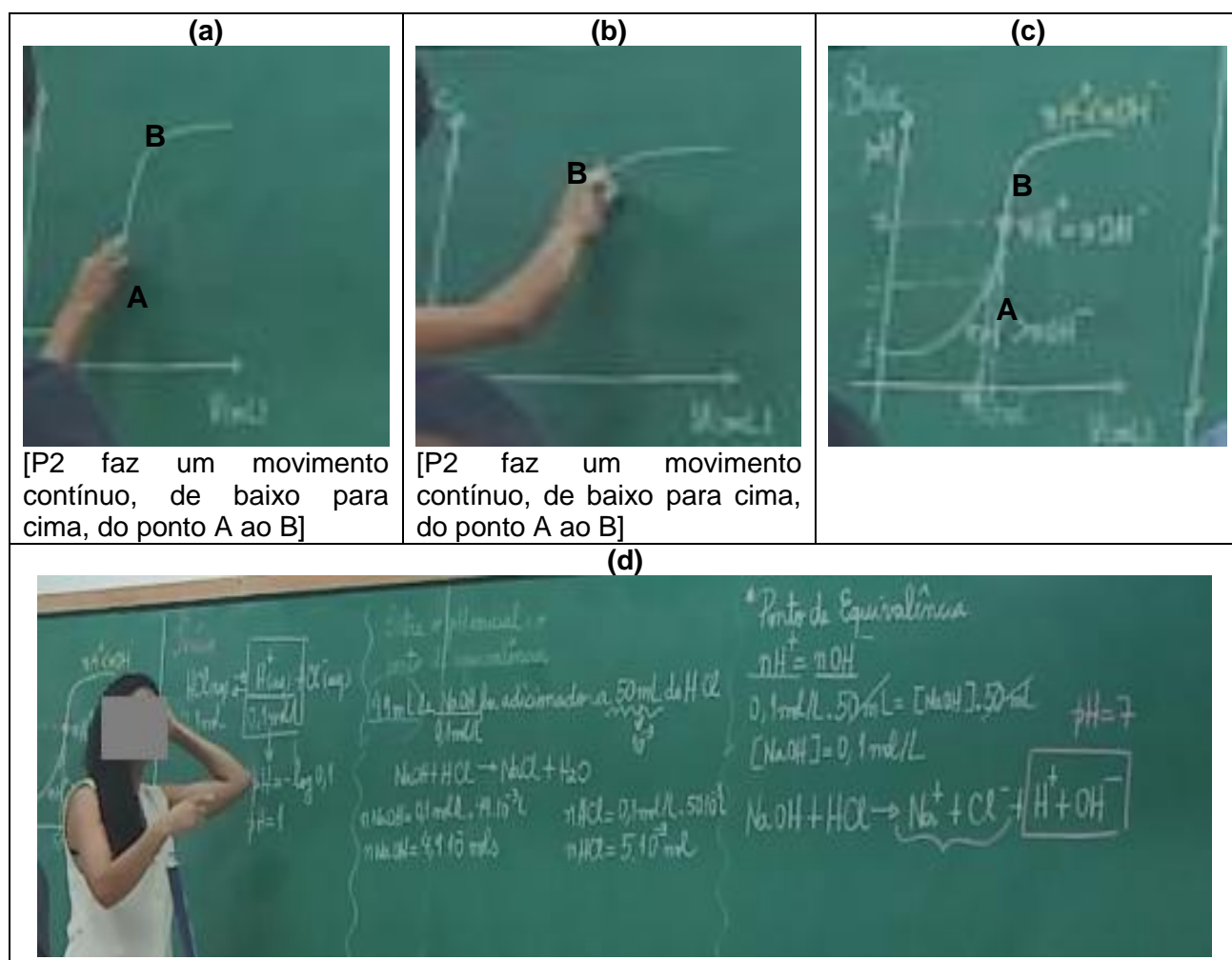


Fonte: Adaptado de BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005, p. 621

No decurso da intervenção didática, P2 lança a seguinte pergunta aos estudantes – “É possível usar um indicador que mude de cor acima ou abaixo do ponto de equivalência?”. Imediatamente, a maioria responde que não e L2 comenta – “Não. Porque não passa pelo ponto de equivalência. Como vai me indicar o ponto de equivalência?”.

Em seguida, P2 desenha no quadro o gráfico, mostrado na figura 20, para explicar o significado de cada região da curva de titulação. Nas partes (a) e (b), P2 aponta para o gráfico e faz um movimento contínuo, de baixo para cima, do ponto A ao B, no qual o pH varia rapidamente de 3 a 10,7, aproximadamente. E, como observado na parte (d), faz cálculos do pH para auxiliar os estudantes no entendimento dos valores representados no gráfico.

Figura 20 – Gestos da professora e representações escritas no quadro



Após atuação gestual da P2 e realização dos cálculos com a turma, a professora percebe que alguns estudantes compreendem o motivo de os dois indicadores poderem ser utilizados em titulação ácido-base forte, cujo ponto de equivalência é igual a 7. Abaixo, a transcrição da interação discursiva:

P2: Pessoal, o que vocês acham? Será que aqueles dois indicadores podem ser utilizados numa titulação ácido-base?

L2: Sim, porque quando chega ao volume de equivalência, o pH sobe rápido, então se você usa um indicador que muda de cor nesse intervalo, ele vai indicar o volume que estou procurando.

L3: Os dois (indicadores) mudam de cor quando o volume é 50 mL, então, se é este volume que eu preciso encontrar para achar a concentração desconhecida, então dá pra utilizar.

P2: Isso mesmo. Então, agora vocês conseguem selecionar os

indicadores apropriados para serem utilizados em uma curva de titulação ácido-base. Entenderam? L2, quer dizer mais alguma coisa?

L2: *Entendi que não necessariamente a gente precisa usar um indicador que tenha o ponto de viragem exatamente igual o ponto de equivalência. Pode ser diferente.*

P2: *Sim. O ideal, na verdade, seria que o indicador variasse de cor no ponto de equivalência, mas, na prática isso não é necessário, porque como eu expliquei anteriormente, eles darão o valor correto do volume do titulante gasto para atingir o ponto de equivalência.*

Discussão do dado

A resposta incorreta, observada pelo retorno “não” da maior parte dos estudantes e pela fala de L2 – “[...] *Porque não passa pelo ponto de equivalência*” – à indagação da professora, foi influenciada pelo *affordance* negativo do gráfico.

Na forma representacional gráfica, na figura 19, o pH varia rapidamente próximo ao ponto de equivalência, por isso, um indicador que tem a faixa de viragem em qualquer ponto nessa faixa de rápido aumento da curva de titulação indica exatamente o ponto de equivalência (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). No entanto, uma vez que o intervalo de variação de cor dos indicadores não passa pelo ponto de equivalência, os estudantes deduzem que eles não podem ser utilizados como indicadores da titulação, o que é uma interpretação incorreta instigada por esse *affordance* negativo. Ora, o arranjo do gráfico com a faixa de variação do pH dos indicadores, fenolftaleína e vermelho de metila, acima e abaixo do ponto de equivalência, nessa ordem, corresponde ao *affordance* negativo que leva os estudantes a concluírem que eles não podem ser utilizados na referida titulação, justamente pelo fato do intervalo de pH não passar pelo ponto de equivalência.

Ressaltamos que o termo negativo não quer dizer que a representação gráfica é inconveniente, mas que a sua construção convida os estudantes a um cometimento de equívoco conceitual: os indicadores não passam pelo ponto de equivalência na curva de titulação, logo não podem ser utilizados para indicar o ponto de viragem.

Superação do equívoco

No início da aula, P2 emite um signo com função de sinal na forma de ato sêmico de interrogação – “*É possível usar um indicador que mude de cor acima ou abaixo do ponto de equivalência?*”. Conforme relatado anteriormente, quase todos os estudantes respondem que não e L2 também comenta incorretamente – “*Não. Porque não passa pelo ponto de equivalência. Como vai me indicar o ponto de equivalência?*” – evidência de má compreensão da mensagem do sinal. Desse modo, P2 percebe que a dúvida é geral e que os licenciandos apresentam dificuldades para entender o significado do sinal de interrogação devido ao *affordance* negativo do gráfico.

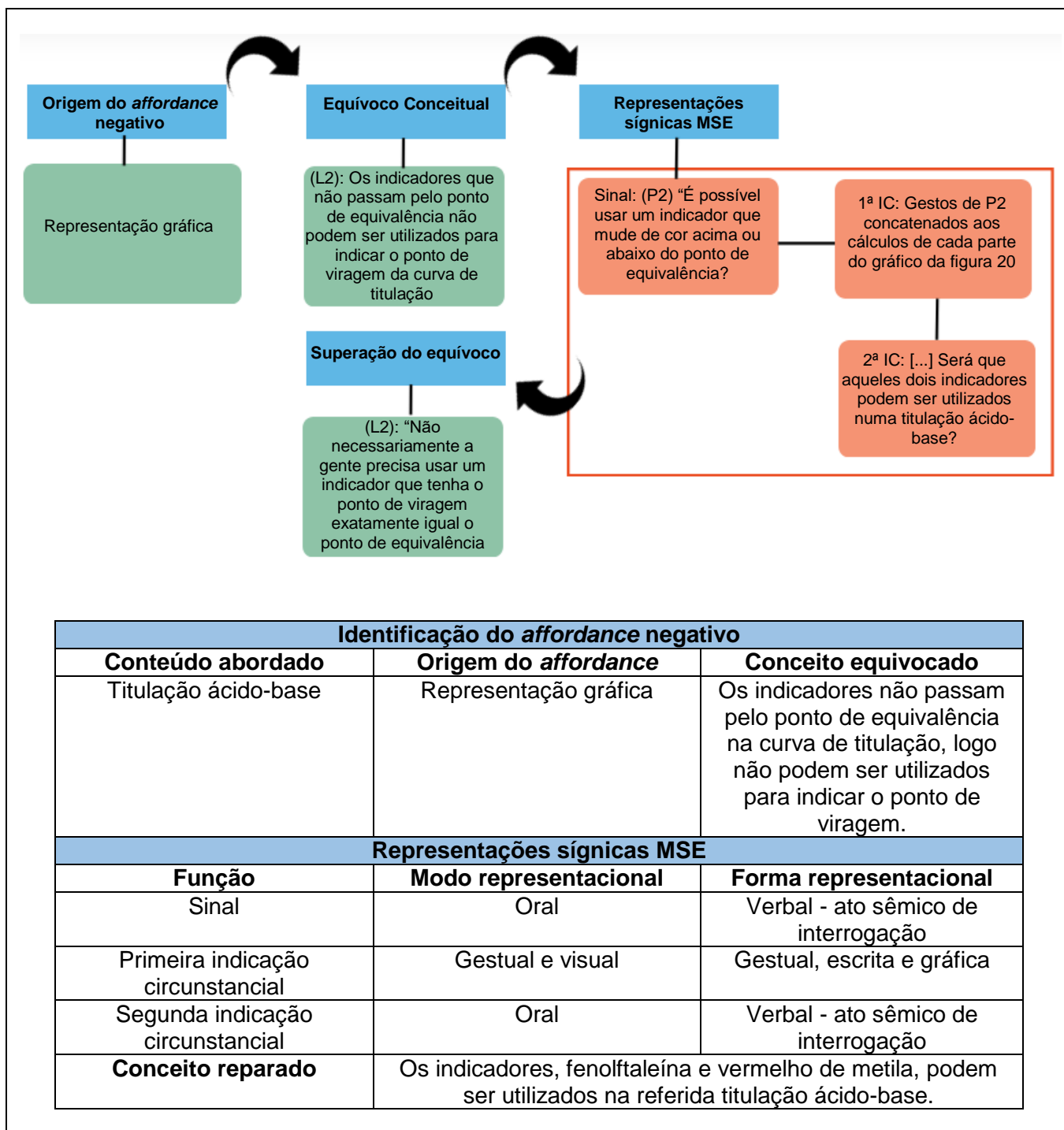
Para a superação do equívoco pelos estudantes, em vez de emitir um sinal direto para informar que os dois indicadores podem ser utilizados na referida titulação ácido-base, P2 aponta para o gráfico e faz um movimento contínuo, por vários instantes, de baixo para cima, do ponto A ao B, onde o pH varia rapidamente de 3 a 10,7, aproximadamente. Esses gestos são visualizados na parte (a) e (b) da figura 20. Sua intenção é atrair a atenção dos licenciandos à percepção visual para determinada faixa do gráfico. Em seguida, P2 realiza com os estudantes os cálculos, mostrados na parte (d) dessa mesma figura, com o objetivo de mostrar que apenas uma gota de titulante é suficiente para variar o pH drasticamente e, por esse motivo, um indicador que começa e termina sua variação de cor em algum ponto na faixa de rápido aumento da curva de titulação (ponto A-B do gráfico nas figuras 19 e 20) fornece medida suficientemente exata do volume de titulante necessário para atingir o ponto de equivalência. Portanto, com o intuito de possibilitar que alguns estudantes cheguem ao entendimento do significado da mensagem científica: os dois indicadores podem ser utilizados na referida titulação ácido-base, P2 emite gestos e faz cálculos com toda a classe.

A professora tem a intenção de indicar aos estudantes que os dois indicadores, fenolftaleína e vermelho de metila, podem ser utilizados para sinalizar o ponto de equivalência da titulação. Portanto, a gesticulação de P2, concatenada à forma representacional escrita dos cálculos de cada parte da representação gráfica, atuam como indicações circunstanciais, posto que se tratam de signos com função de assistir, auxiliar, complementar e subsidiar a compreensão do significado do sinal. Em outras palavras, a finalidade do emprego das indicações circunstanciais por P2

foi delimitar a mensagem do sinal, a fim de que os estudantes chegassem independentemente à conclusão conceitual.

Após ocorrência da indicação circunstancial, P2 emite atos sêmicos de interrogação para a classe – *“Pessoal, o que vocês acham, então? Será que aqueles dois indicadores podem ser utilizados numa titulação ácido-base?”*. Na sequência, L2 e L3 respondem que os dois indicadores podem ser utilizados, como se constata nos seguintes fragmentos – (L2): *“Sim, porque quando chega no volume de equivalência, o pH sobe rápido, então se você usa um indicador que muda de cor nesse intervalo, ele vai indicar o volume que estou procurando”*; (L2): *“Não necessariamente a gente precisa usar um indicador que tenha o ponto de viragem exatamente igual o ponto de equivalência. Pode ser diferente”*; (L3): *“Os dois (indicadores) mudam de cor quando o volume é 50 mL, então se é este volume que eu preciso encontrar para achar a concentração desconhecida, então dá pra utilizar”*. Uma vez que houve estudantes, L2 e L3, que alcançam o estado de compreensão da mensagem científica, advertimos que os questionamentos promovidos por P2 também são signos que atuam como indicações circunstanciais por subsidiar a mensagem da indicação anterior e estimular o pensamento autônomo dos licenciandos à resposta esperada pela professora. A seguir, na figura 21, apresentamos o resumo deste caso a partir de um desenho esquemático e quadro.

Figura 21 – Esquema da análise e discussão do caso 6



Fonte: Autores (2021)

6.7 CASO 7 – EQUÍVOCO PROCEDIMENTAL INFLUENCIADO POR *AFFORDANCE* NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO DIAGRAMÁTICA

Apresentação do dado

Para a realização da atividade experimental 5, os estudantes usam a representação diagramática, exibida na figura 3, para orientar-se quanto à execução da prática. A seguir, apresentamos os diálogos entre os estudantes dos grupos A, B, C e D, a partir dos quais apontamos os equívocos procedimentais instigados pelo *affordance* negativo do diagrama.

Grupo A

E3: *O composto B deu insolúvel em água. Então, agora tem que pegar a mesma amostra que colocamos água e adicionar o NaOH.*

E1: *Coloca o NaOH no meio da água?*

E3: *Isso. A gente coloca o NaOH nessa solução.*

(Após a adição de NaOH no tubo de ensaio contendo a amostra B e água)

E1: *Ficou bem amarelado. O pH deu 11. É uma base forte.*

E3: *Sim, se o pH é maior que 7, então o composto é básico.*

P1: *Pessoal, o pH vocês só vão medir se o composto for solúvel em água. Se não for solúvel, vocês não precisam medir. Aí, para dar continuidade, tem que verificar a solubilidade da amostra em outros solventes.*

E1: *Então, se deu insolúvel, a gente tem que pegar outro tubo de ensaio e colocar os outros solventes sem água?*

P1: *Isso. Sem água. Sempre com outros tubos. Por exemplo, a amostra A ficou solúvel em água, vocês determinam o pH e vejam qual o composto. Pega a amostra B, se deu insolúvel em água, vocês devem pegar outro tubo e testar a solubilidade em outro solvente. E assim vai seguindo até encontrar as funções orgânicas.*

E1: *Nós fizemos tudo errado. Eu achei que podia ir colocando os solventes no mesmo tubo.*

P1: *O pH vocês vão medir só se o composto for solúvel em água, se é insolúvel em água, nem precisa medir, porque os solventes irão alterar o pH. Se eu colocar um ácido, o pH vai ser menor que 7 e se colocar a base, vai dar pH maior que 7.*

E3: *A gente estava colocando um solvente em cima do outro. Imagina se tivesse dado alguma reação. Nós fizemos várias vezes errado.*

E1: *A gente colocou água, NaOH e ácido (se referindo ao HCl) no mesmo tubo de ensaio.*

Os grupos B, C e D cometem equívocos semelhantes aos praticados pelo grupo A. Ao perceber isso, a pesquisadora solicita que P1 pergunte o motivo de estarem executando o procedimento de tal maneira. Na sequência, apresentamos o diálogo entre os estudantes dos grupos B, C e D.

Grupo B

E7: *Já testamos os compostos em água. O composto A deu solúvel em água, o B e o C insolúvel. Agora a gente adiciona o NaOH em cada um deles.*

E8: *Ok. Então, agora vamos adicionar NaOH neles (referindo-se às amostras A, B e C).*

(Após a adição de NaOH em todos os tubos de ensaio contendo as três amostras desconhecidas e água, E7 pergunta):

E7: *Está certo, professora?*

P1: *Não. Se for insolúvel em água, tem que pegar a mesma amostra e testar em outro solvente, mas tem que pegar outro tubo limpo para solubilizar a amostra nos outros solventes. Por que vocês fizeram dessa forma?*

E7: *Para mim, podia ir colocando os solventes tudo junto porque ia dar certo, não dá para saber que precisa trocar os tubos.*

P1: *Mas, se você adiciona diferentes solventes, isso vai interferir no teste da solubilidade.*

E8: *É. Faz sentido.*

Grupo C

E13: *A substância B é insolúvel em água.*

E11: *Então, agora temos que colocar o NaOH nessa amostra e depois tem que testar o pH.*

E13: *pH básico.*

E12: *Acho que está errado. Se a gente coloca a base, vai ser básico.*

E13: *É mesmo.*

E12: *Professora, não precisa medir o pH quando adiciona o NaOH, por que vai dar básico, não é?*

P1: *Sim. Vocês só vão medir o pH para descobrir qual é a função orgânica da amostra se a mistura em água for solúvel. Agora, o restante vocês não precisam medir o pH, porque se vocês colocam*

HCl o pH vai ser ácido, se coloca NaOH, fica básico. Explica para mim como vocês fizeram.

E11: *A gente testou com água, aí depois colocamos NaOH.*

P1: *Mas se vocês testaram em água e ficou insolúvel, vocês não podem adicionar ao mesmo tubo NaOH, porque dá interferência no teste. Por que vocês fizeram dessa forma?*

E11: *A gente foi seguindo as linhas do diagrama.*

Grupo D

E19: *O B é insolúvel em água.*

E18: *Adiciona o NaOH.*

E19: *Deu insolúvel.*

E18: *Agora adiciona HCl.*

E19: *Insolúvel também.*

E18: *Será que é assim? Professora, como tem que fazer?*

P1: *Como vocês fizeram?*

E18: *A gente testou o B com água, deu insolúvel. Depois testamos com NaOH e depois com o HCl.*

P1: *Por que vocês fizeram assim?*

E18: (Apontando com o dedo por cima das linhas do diagrama, E18 foi explicando para a professora) *A gente seguiu o diagrama. Primeiro, usamos água, depois NaOH e depois HCl. Fomos fazendo na sequência.*

Após perceber os equívocos, P1 faz alguns esclarecimentos para toda a classe, com o objetivo de levar os estudantes à ação procedimental correta do teste de solubilidade dos compostos orgânicos.

P1: *“Pessoal, vão me acompanhando pelo diagrama. Primeiro vocês têm que testar a solubilidade em água. Certo? Aí vocês vão ver se é solúvel ou insolúvel e vão seguindo o diagrama. Se for solúvel, testa o pH. Se for insolúvel, em um novo tubo, adiciona a amostra desconhecida e adiciona o solvente NaOH e verifica a solubilidade. Se for insolúvel nesse solvente, usa outro tubo e testa a solubilidade da amostra com o solvente HCl, mas sempre com a mesma amostra e tubos limpos. Esse procedimento vocês vão fazer para todas as amostras. Vocês têm que ir seguindo o diagrama”.*

Depois disso, ocorrem os seguintes diálogos nos grupos:

Grupo A

E3: *Vamos ir fazendo por partes. A gente não pode misturar os solventes. Então vamos começar pelo A.*

E1: *Ok. Deu solúvel em água, e agora?*

E5: *Vamos medir o pH.*

E3: *Ficou bem vermelho. Então a função é ácido carboxílico.*

E5: *Agora vamos fazer o teste só para o B.*

E3: *Deu insolúvel em água. E agora?*

E1: *Agora adiciona a base NaOH em outro tubo, igual a professora explicou.*

E3: *Também ficou insolúvel. Tem que testar o pH?*

E5: *Claro que não. Vai ser básico, porque já adicionamos uma base. Tem que pegar outro tubo e testar só com o HCl.*

E3: *Tá. Com o ácido também ficou insolúvel. Então agora tem que fazer o teste com o ácido sulfúrico?*

E5: *Isso.*

E3: *Solubilizou no ácido sulfúrico. Pertence a alguma função dos compostos neutros.*

E5: *Ok. Precisamos seguir todo esse método para a amostra C.*

(Após seguir as mesmas etapas para a amostra C, E5 conclui)

E5: *A amostra C não se solubilizou em nenhum solvente. Significa que ele pertence à classe dos compostos inertes.*

Grupo B

E7: *Então, vamos começar de novo. A primeira amostra a gente viu que é solúvel em água e testamos o pH. Já descobrimos que é um ácido carboxílico. A amostra A já está resolvida. Vamos começar a partir da amostra B. Ela ficou insolúvel em água. E a amostra C também ficou insolúvel. Agora já dá para fazer o teste deles com o NaOH. Só com NaOH.*

E8: *A amostra B ficou insolúvel em NaOH e a amostra C também.*

E6: *Agora o teste é só com o HCl, em um novo tubo.*

E7: *Isso. As duas amostras também ficaram insolúveis. Agora tem que fazer os testes das duas com o ácido sulfúrico.*

E8: *A B ficou solúvel no H_2SO_4 e a amostra C não se solubilizou.*

E7: *Então a B se trata de um composto neutro e a C é um composto inerte.*

Grupo C

(Depois de realizados os testes, o estudante E11 discute com o grupo as etapas feitas):

E11: *Então ficou assim. A amostra A deu solúvel em água e daí testamos o pH. A amostra B deu insolúvel em água, NaOH e HCl. Ela só foi solubilizar no H_2SO_4 . E a C ficou insolúvel em todos os solventes que testamos.*

Grupo D

E19: *A gente precisa tomar cuidado para não misturar os solventes. Primeiro, a gente vai testar com água. Se for solúvel, a gente testa o pH. Mas se for insolúvel, a gente vai continuando o teste e trocando os tubos para testar com os outros solventes. Entenderam? Acho que podemos começar o teste com todas as amostras, mas fazendo só com água.*

E17: *Beleza.*

E18: *A (amostra) A deu solúvel, a B insolúvel e a C também deu insolúvel em água.*

E19: *Se a A deu solúvel, a gente precisa testar o pH.*

E18: *Ficou vermelho. Então é ácido.*

E19: *Agora para a amostra B e C temos que testar com o NaOH.*

E18: *Ficou insolúvel nos dois.*

E19: *Vamos testar com HCl.*

E18: *Também ficou insolúvel.*

E19: *Agora o teste é com o ácido sulfúrico.*

E18: *Ok. (Após os testes, E18 conclui): A amostra B ficou solúvel e a C insolúvel. Já podemos descobrir. Olha aí no diagrama para ver qual é função desses compostos.*

E19: *A amostra B é um composto neutro e a C, um composto inerte.*

Depois da realização experimental adequada, verificada nos fragmentos discursivos acima, P1 revela que as substâncias utilizadas na prática

correspondem ao ácido acético, acetato de etila e naftalina. Dando fechamento à aula, P1 ressalta que apenas o teste de solubilidade não é suficiente para identificar o composto orgânico e que são necessários outros experimentos para estabelecer a identidade de uma amostra desconhecida e o seu grupo funcional principal. E, ainda, enfatiza que o método experimental executado é importante para se habituar às técnicas qualitativas de química orgânica empregadas nos laboratórios.

Discussão do dado

No grupo A, ao iniciar o procedimento, E1 e E3 testam a solubilidade da amostra B, acetato de etila, com água. A substância não se solubiliza. Na sequência, adicionam à mistura heterogênea formada o solvente $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ como mostrado nas falas do E1 – *“Nós fizemos tudo errado. Eu achei que podia ir colocando os solventes no mesmo tubo”*; *“a gente colocou água, NaOH e ácido (se referindo ao HCl) no mesmo tubo de ensaio”* – e do E3 – *“[...] pegar a mesma amostra que colocamos água e adicionar o NaOH”*; *“[...] A gente coloca o NaOH nessa solução”*; *“a gente estava colocando um solvente em cima do outro, imagina se tivesse dado alguma reação”*. Identificamos, nesses trechos, equívoco do tipo procedimental, isso porque E1 e E3 adicionam o $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ na mesma mistura heterogênea, formada entre a amostra B e água. Isto é, os aprendizes utilizam dois solventes, H_2O e NaOH , no mesmo tubo de ensaio, procedimento incorreto para testar a solubilidade do composto orgânico.

No grupo B, os estudantes iniciam o procedimento de forma correta ao testar a solubilidades dos compostos desconhecidos, separadamente, em água. Eles concluem que a amostra A é solúvel e as amostras B e C, insolúveis nesse solvente. Entretanto, para dar continuidade, E7 diz – *“Agora a gente adiciona NaOH em cada um deles”* – e E8 confirma a ação procedimental equivocada a ser efetuada – *“Então, agora vamos adicionar NaOH neles”*. Como comprovado pelas manifestações verbais de E7 e E8, após o teste de solubilidade em H_2O para as amostras A, B e C, os estudantes adicionam outro solvente, o $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$, aos mesmos tubos de ensaio. Portanto, cometem um equívoco procedimental idêntico ao praticado pelo grupo A.

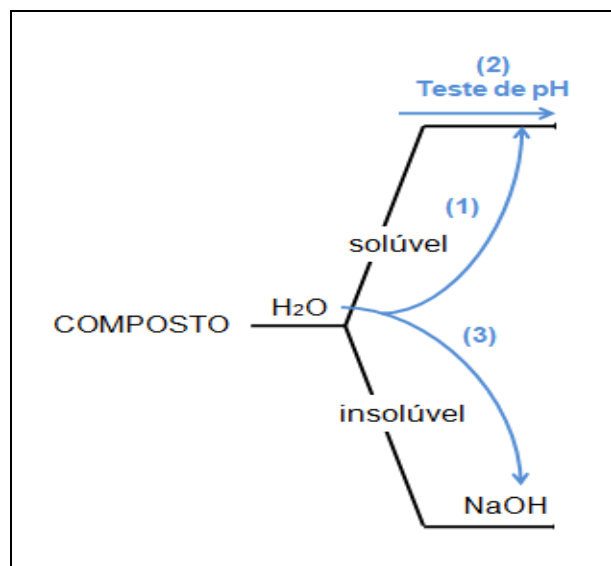
No grupo C, evidenciamos conclusões conceituais incorretas, consequências dos equívocos procedimentais. Os estudantes adicionam NaOH ao

tubo de ensaio contendo a amostra B e água. Em seguida, testam o pH da solução. Depois disso, E13 conclui – “*pH básico*”. Da mesma forma que o grupo A, os estudantes do grupo C adicionam ao tubo de ensaio contendo a amostra B e H₂O o solvente NaOH_(aq) – procedimento incorreto – e concluem que o composto se trata de uma base, mesmo após a adição de uma base forte – equívoco conceitual.

Por fim, o grupo D também executa a atividade experimental incorretamente. Nesse grupo D, os aprendizes colocam H₂O, NaOH e HCl no mesmo tubo de ensaio com a amostra B, como evidenciado pela fala de E18 – “*A gente testou o B com água, deu insolúvel. Depois testamos com NaOH e depois com o HCl*”. Logo, o mesmo equívoco procedimental realizado pelos estudantes dos grupos A, B e C.

O equívoco procedimental é influenciado pelo *affordance* negativo ligado à característica/*layout* do diagrama mostrado na figura 3. Em seguida, exibimos um recorte da representação diagramática para explicitar a causa do *affordance* e, conseqüentemente, a possível influência do erro.

Figura 22 – Recorte da representação diagramática exibida na figura 3



Fonte: Autores (2021)

De acordo com a figura 22, e conforme esclarecido no Apêndice I (Caso 7), a primeira etapa (1) consiste no teste de solubilidade do composto desconhecido em água. Caso o composto seja solúvel, a medição de pH deve ser feita, conforme etapa (2). Se o composto é imiscível, os estudantes prosseguem para a etapa (3), na qual o ensaio é feito usando apenas o solvente NaOH_(aq), para

determinar a extensão da solubilidade nesse solvente. Contudo, nota-se que não há indicações de que, após a etapa (1), se o composto é imiscível, o teste teria de ser realizado unicamente com o solvente $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$, passo 3. Ao contrário, as linhas contínuas da representação levam os estudantes a prosseguirem o teste continuamente, sem paragens, entre a adição de solventes e, por isso, são *affordances* negativos.

Essa característica do diagrama que guia os estudantes ao cometimento do equívoco é comprovada, principalmente, nas falas de E18 – “*A gente foi seguindo o diagrama (passa o dedo em cima das linhas da representação). Primeiro, usamos água, depois NaOH e depois HCl. Fomos fazendo na sequência*” – na fala de E7 – “*Para mim, podia ir colocando os solventes tudo junto porque ia dar certo, não dá para saber que precisa trocar os tubos*” – e na de E11 – “*A gente foi seguindo as linhas do diagrama*”. Logo, concluímos que o formato do diagrama é um indutor de equívoco procedimental, por conduzir os estudantes a procederem desacetadamente.

Inferimos que os equívocos do tipo procedimental foram influenciados pelo *affordance* negativo da representação diagramática, associado às linhas contínuas, sem paragens. Em outros termos, o *affordance* negativo do diagrama propicia a produção do erro procedimental, pois sugere aos estudantes má interpretação do recurso visual. Com isso, demonstramos alguns equívocos do tipo procedimental, como adição de vários solventes no mesmo tubo de ensaio e teste de pH do composto orgânico após a adição de ácido ou base.

Ainda, de acordo com a figura 22, a aferição do pH, etapa (2), é realizada apenas nos casos em que as amostras são solúveis em água. No entanto, mesmo após a adição da base, os estudantes prosseguem o teste e estimam o pH, utilizando o papel de tornassol, para, supostamente, encontrar a função orgânica da solução. Como vemos, por exemplo, no fragmento de E1, que conclui – “*Ficou bem amarelado, o pH deu 11. É uma base forte*”. E o estudante E3 confirma – “*Sim, se o pH é maior que 7, então o composto é básico*”. Verifica-se, a partir das falas, uma incorreção conceitual, em razão de os estudantes concluírem que o composto desconhecido é uma base, mesmo após a adição de uma base forte. Durante a realização do teste, os estudantes dos grupos A e C adicionam $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$, considerado uma base forte e, conseqüentemente, o pH dessa solução será maior

que 7. Assim, não se pode afirmar que o composto é uma base, pois a adição do solvente básico ocasiona o aumento do pH da solução.

Com as operações manipulativas incorretas, também foi possível explicitar equívocos do tipo conceitual: entendimento de que as amostras são ácidas ou básicas, após a adição de um solvente ácido ou básico. Quer-se dizer com isso que o equívoco conceitual, durante a realização da atividade experimental, tem origem procedimental, na medida em que os estudantes são regidos à incorreção conceitual pelas ações inicialmente inadequadas. Ou seja, os erros conceituais são reforçados pelos equívocos antecedentes no procedimento experimental estimulados pelo *affordance* negativo da representação diagramática.

Superação do equívoco

No grupo A, P1, por intermédio de sinais na forma de atos sêmicos de informação, explica de forma direta e repetidamente como o procedimento deve ser executado – *“Pessoal, o pH vocês só vão medir se o composto for solúvel em água. Se não for solúvel, vocês não precisam medir. [...] tem que verificar a solubilidade da amostra em outros solventes”*; *“[...] Por exemplo, a amostra A ficou solúvel em água, vocês determinam o pH e vejam qual o composto. Pega a amostra B, se deu insolúvel em água, vocês devem pegar outro tubo e testar a solubilidade em outro solvente. E assim vai seguindo até encontrar as funções orgânicas”*; *O pH vocês vão medir só se o composto for solúvel em água, se é insolúvel em água, nem precisa medir, porque os solventes irão alterar o pH”*.

No grupo B, P1 procede, exatamente, da mesma maneira. Em vez de lançar uma indicação circunstancial para conduzir os estudantes a um esforço de pensamento autônomo para que eles percebam os equívocos procedimentais realizados e revisem, independentemente, as operações experimentais, P1 transmite sinais diretos para informar as etapas do teste da solubilidade – *“[...] Se for solúvel em água, tem que pegar a mesma amostra e testar em outro solvente, mas tem que pegar outro tubo limpo para solubilizar a amostra nos outros solventes”*; *“[...] Se você adiciona diferentes solventes, isso vai interferir no teste da solubilidade”*.

Igualmente, no grupo C, P1 fornece uma resposta direta para resolver os problemas dos estudantes – *“[...] Vocês só vão medir o pH para descobrir qual é a função orgânica da amostra se a mistura em água for solúvel [...]”*;

“Mas se vocês testaram em água e ficou insolúvel, vocês não podem adicionar ao mesmo tubo NaOH, porque dá interferência no teste”. Por último, no grupo D, P1 por meio de signos com função de sinal, uma vez que é um comunicado direto, na forma de atos sêmicos de interrogação – “Como vocês fizeram?”; “Por que vocês fizeram assim?” – inquire explicações dos aprendizes, unicamente, para entender o motivo que os levou a procederem à atividade experimental de maneira incorreta.

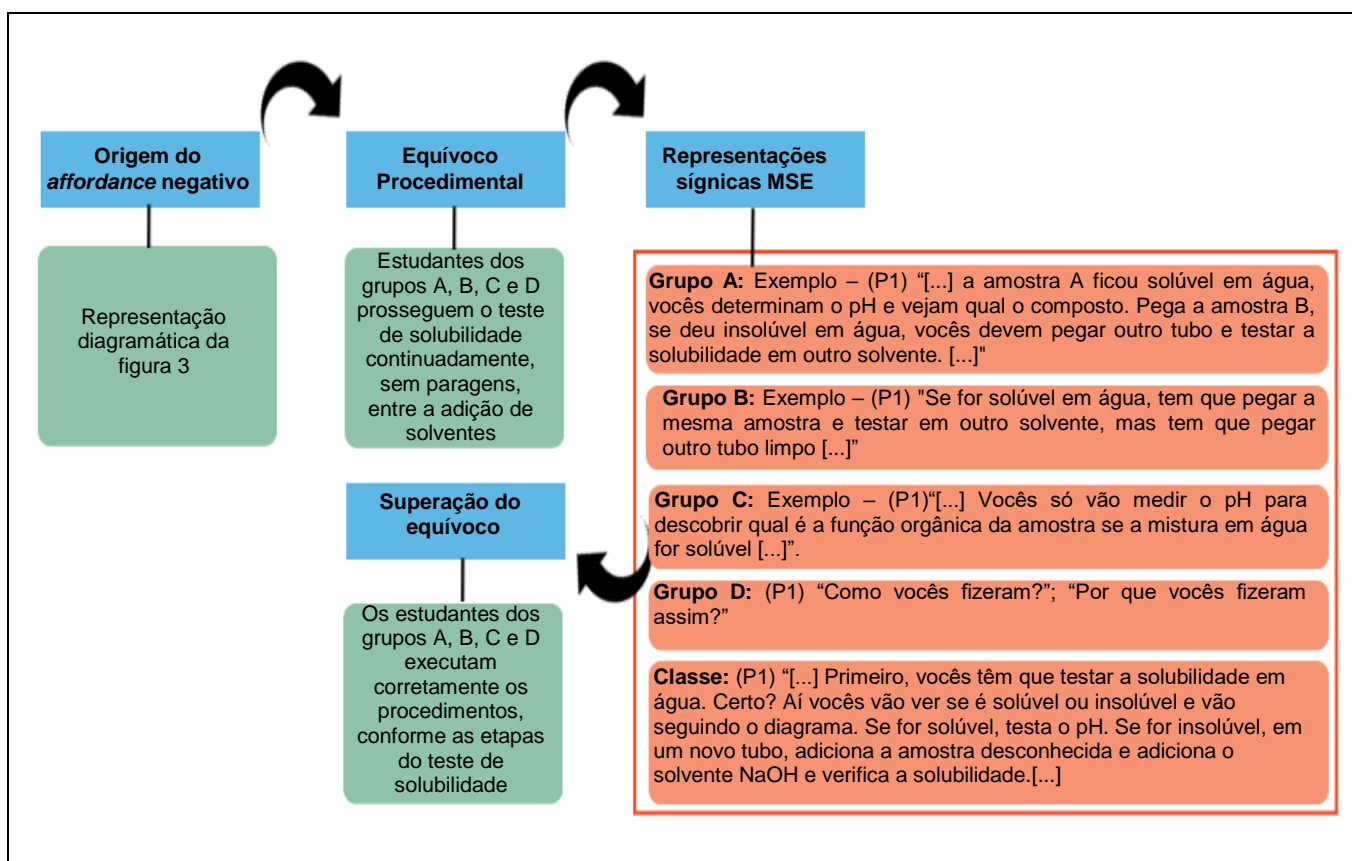
Após intervenção em cada um dos grupos, P1 faz esclarecimentos das etapas do teste de solubilidade para toda a classe, novamente, por intermédio de um sinal oral direto na categoria social de informação – “Pessoal, vão me acompanhando pelo diagrama. Primeiro, vocês têm que testar a solubilidade em água. Certo? Aí vocês vão ver se é solúvel ou insolúvel e vão seguindo o diagrama. Se for solúvel, testa o pH. Se for insolúvel, em um novo tubo, adiciona a amostra desconhecida e adiciona o solvente NaOH e verifica a solubilidade. Se for insolúvel nesse solvente, usa outro tubo e testa a solubilidade da amostra com o solvente HCl, mas sempre com a mesma amostra e tubos limpos. Esse procedimento vocês vão fazer para todas as amostras. Vocês têm que ir seguindo o diagrama”. O objetivo dessa fala é levar os estudantes ao entendimento dos procedimentos para o teste experimental. Desta maneira, sem rodeios, P1 diz, de pronto, para os estudantes como prosseguir a atividade sem provocar maior reflexão acerca dos procedimentos e fenômenos químicos do teste.

Depois da enunciação de P1, mediante sinais diretos e pontuais, todos os estudantes executam os métodos procedimentais, conforme as etapas do teste e, por consequência, descobrem as funções orgânicas dos compostos, inicialmente desconhecidos. Provamos essa afirmação por meio dos seguintes excertos dos atos dialógicos dos grupos A, B, C e D – **Grupo A:** referente à amostra A – (E3): “[...] a função é ácido carboxílico; referente à amostra B – (E3): [...] “Pertence a alguma função dos compostos neutros”; referente à amostra C – (E5): “A amostra C não se solubilizou em nenhum solvente”; **Grupo B:** referente à amostra A – (E7): “[...] já descobrimos que é um ácido carboxílico”; referente às amostras B e C – (E7): “Então a B se trata de um composto neutro e a C é um composto inerte”; **Grupo C:** referente às amostras A, B e C – (E11): “Então ficou assim. A amostra A deu solúvel em água e daí testamos o pH. A amostra B deu insolúvel em água, NaOH e HCl. Ela só foi solubilizar no H₂SO₄. E a C ficou insolúvel em todos os solventes que testamos”; **Grupo D:** referente à amostra A – (E18): “Ficou vermelho.

É ácido”; referente às amostras B e C – (E19): “A amostra B é um composto neutro e a C, um composto inerte”). No fim da atividade experimental, os estudantes concluem que a amostra A corresponde ao ácido acético, a B ao acetato de etila e a C à naftalina, por apresentarem, nessa ordem, as funções orgânicas ácido carboxílico, éster (composto neutro) e composto aromático (composto inerte).

Em conclusão, mostramos que, após as transmissões dos sinais orais por P1, os estudantes dos grupos A, B, C e D realizam os passos da prática experimental de modo adequado. Portanto, eles compreendem a mensagem transmitida por P1, com linearidade e explicitação objetiva, através dos signos com função de sinais. Contudo, neste caso, a informação, como categoria social principal do ato sêmico entre P1 e os estudantes, não potencializa um pensamento autônomo dos aprendizes com relação aos procedimentos e conceitos envolvidos na prática, se comparada ao signo indicação circunstancial. Dessa maneira, os sinais utilizados por P1, tornam passiva a posição dos estudantes na tomada de decisão para refazer o experimento e compreender os conceitos com independência. Na figura 23, retratamos de forma abreviada a discussão feita neste caso.

Figura 23 – Esquema da análise e discussão do caso 7



Identificação do <i>affordance</i> negativo			
Conteúdo abordado		Origem do <i>affordance</i>	Procedimento equivocado
Solubilidade dos compostos orgânicos		Representação diagramática	Realização do teste de solubilidade dos compostos orgânicos com diferentes solventes no mesmo tubo de ensaio.
Representações sígnicas MSE			
Grupo	Função	Modo representacional	Forma representacional
A	Sinais	Oral	Verbal - ato sêmico de informação
B	Sinais	Oral	Verbal - ato sêmico de informação
C	Sinais	Oral	Verbal - ato sêmico de informação
D	Sinais	Oral	Verbal - ato sêmico de interrogação
Classe	Sinais	Oral	Verbal - ato sêmico de informação
Procedimento reparado		Realização da atividade experimental, conforme as etapas do teste de solubilidade	

Fonte: Autores (2021)

6.8 CASO 8 – EQUÍVOCO PROCEDIMENTAL INFLUENCIADO POR *AFFORDANCE* NEGATIVO NO OBJETO

Apresentação do dado

Na aula experimental 6, de técnicas de laboratório na turma de técnicos em química de 2020, é possível identificar o *affordance* negativo devido ao *design* da bureta.

Antes da realização da prática experimental, P1 orienta a classe para a operação dos procedimentos. Após o preenchimento de líquido na bureta, P1 percebe erros dos estudantes na leitura do volume de líquido escoado. Na sequência, mostramos os fragmentos da interação discursiva dos estudantes A8, do grupo B, e A17, do grupo D, que permitem evidenciar o engano na leitura da vidraria.

Grupo B

A8: Professora, a gente fez o escoamento até a marcação de 15,3 mL. (Na vidraria, o volume é de 14,7 mL).

(P1 observa o erro na leitura do volume escoado e diz):

P1: *Vocês se lembram do que eu expliquei? Vejam bem.*

A7: *Verdade, professora. Está errado. O zero fica em cima e a marca de 25 mL está na parte de baixo. Então, a leitura é crescente de cima para baixo. Significa que a gente deixou escoar só 14,7 mL.*

P1: *Exatamente. Diferente da maioria das vidrarias utilizadas no laboratório e dos materiais utilizados no dia a dia, na bureta, a leitura é realizada de cima para baixo. Então, o volume que vocês escoaram não é 15,3, mas 14,7. Para serem 15,3 mL, vocês têm que deixar escoar até essa marcação. [Mostra para os alunos como a medição deve ser realizada]. Vocês têm que deixar escoar mais 6,0 mL para chegar ao volume de 15,3 mL. Entenderam?*

A8: *Sim. Entendi.*

P1: *Então, agora, acertem o menisco até a marcação de 15,3 mL.*

(Após observar atentamente os estudantes realizarem o procedimento de forma correta, P1 solicita):

P1: *Vamos lá, encham novamente a bureta acima do zero, acertem o menisco e agora façam o escoamento de 9,7 mL.*

(P1 observa os estudantes realizarem a medição).

A8: *É aqui, professora? [Aponta para a marca de 9,7 mL na bureta].*

P1: *Certo. Muito bem.*

Grupo D

(P1 observa A17 manipular a vidraria e cometer o mesmo equívoco de A8. Em seguida, P1 pergunta):

P1: *Quantos mL você deixou escoar?*

A17: 11,4 mL. (Na vidraria, o volume é de 10,6 mL).

P1: *Oh, prestem atenção. Observem. [Sem falar palavra alguma, P1 faz gestos de cima para baixo, apontando na bureta a marca zero na parte superior e a marca de 25 mL na parte inferior (Figura 24)].*

A17: *É mesmo, professora. A leitura deve ser feita de cima para baixo. O volume escoado foi 10,6 mL.*

P1: *Para escoar 11,4 mL, tem que fazer até aqui. [Mostra a marcação de 11,4 mL na bureta]. Agora, façam o escoamento de 9,7 mL. Tem que fazer todo o procedimento novamente e fazer essa medição. Vamos lá. Eu quero ver. (A professora examina os estudantes realizando a medição de forma correta).*

Na figura 24, mostramos o momento em que a professora indica

para os estudantes do grupo D que a medição é feita de cima para baixo.

Figura 24 – Gestos da professora P1 durante explicação para A17



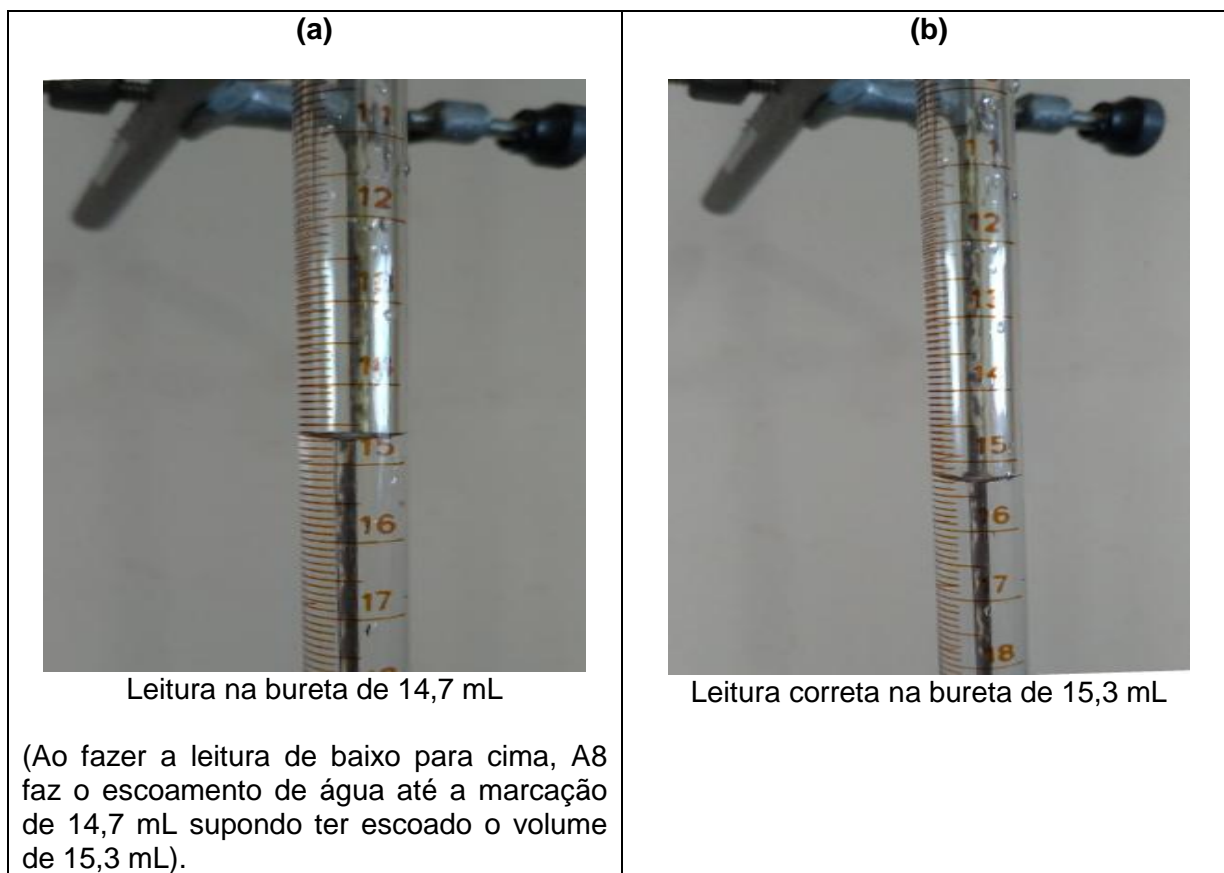
Fonte: Imagens extraídas das gravações

Discussão do dado

Os estudantes dos grupos B e D apresentam dificuldades na leitura correta do líquido escoado no erlenmeyer, evidenciadas pelos diálogos colocados anteriormente. No grupo B, ao fazer a leitura de baixo para cima, A8 faz o escoamento de água apenas até a marcação de 14,7 mL, supondo ter escoado o volume de 15,3 mL. Da mesma forma, A17 deixa escoar 10,6 mL de água, presumindo que o volume no erlenmeyer é 11,4 mL.

Na parte (a) da figura 25, o volume escoado é 14,7 mL. No entanto, A8 avalia ter realizado o escoamento de 15,3 mL, pois lê a escala incorretamente, de baixo para cima. Na parte (b), é mostrado o volume correto de 15,3 mL no instrumento.

Figura 25 – Leitura na bureta de 14,7 mL e 15,3 mL



Fonte: Autores (2021)

Na bureta, a leitura do volume é realizada de cima para baixo, ou seja, o nível zero fica na parte superior do instrumento, diferente da maioria dos utensílios que os estudantes estão acostumados a usar no dia a dia. Em virtude de esse hábito ser contrário à característica da bureta, construída com uma escala de cima para baixo, A8 e A17 são direcionados para uma ação procedimental incorreta, pois fazem a leitura como se tivessem lendo uma régua comum em pé com o zero em baixo. Portanto, a bureta, devido ao *design* planejado para esvaziar, e não para preencher, contrário à maioria dos recipientes diários e instrumentos de laboratório, apresenta um *affordance* negativo para estudantes iniciantes, já que precisam raciocinar e ler o aparelho de maneira inversa.

As buretas são artefatos de grande exatidão e precisão, com uma pequena margem de erro na medição de volumes. Entretanto, o *design* da vidraria ocasiona dúvidas na interpretação do volume a ser medido. Ou seja, A8 e A17 operam o artefato de forma incorreta em razão da interpretação equivocada de seus atributos. Vale salientar que a bureta não é mal planejada morfologicamente ou

construída de maneira incorreta, ao contrário, é um instrumento de alta precisão e exatidão para a medição de volumes de líquidos.

Em suma, mostramos um *affordance* negativo ligado às marcações de cima para baixo, que levam os estudantes a uma operação procedimental incorreta. Em outros termos, o *affordance* negativo, associado ao detalhe morfológico das marcações na bureta, influencia a realização do erro procedimental.

Superação do equívoco

No grupo B, tendo observado que a leitura do volume efetuada por A8 estava incorreta, P1, com um olhar enviesado e um tom de voz indicador de equívoco, questiona por meio do ato sêmico de interrogação – “*Vocês se lembram do que eu expliquei?*” – e, continuamente, ordena através do seguinte ato sêmico – “*Vejam bem*”. Após a emissão dos signos indiretos, caracterizados pela pergunta dissimulada de P1 – “*Vocês se lembram do que eu expliquei?*” – e ordenação aos estudantes para observar a leitura realizada, A8, prontamente, percebe o erro cometido e fala – “[...] *está errado. O zero fica em cima e a marca de 25 mL está na parte de baixo. Então, a leitura é crescente de cima para baixo. Significa que a gente deixou escoar só 14,7 mL*”. Nesse caso, a pergunta da professora na forma representacional oral, juntamente com as características do olhar e tom de voz, e a ordem para que os estudantes verifiquem a medição realizada, trata-se de indicações circunstanciais que levam A8 a perceber autonomamente que a leitura do volume está errada. Portanto, os atos sêmicos de interrogação e ordem de P1 são qualificados como signos com função de indicação circunstancial, pois fornecem a A8 pista da mensagem do sinal: a leitura na bureta é realizada de cima para baixo.

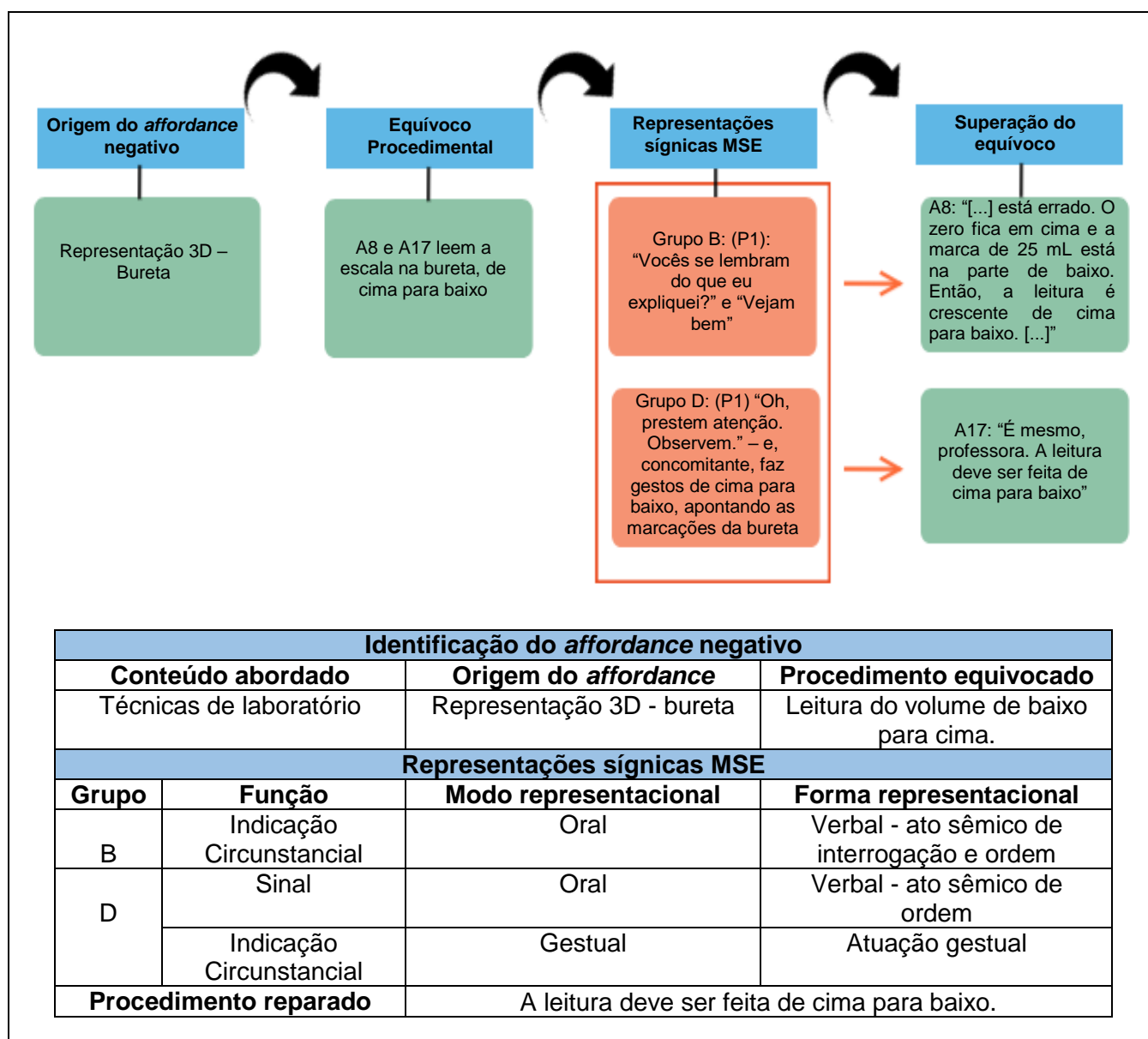
A fim de reforçar a apreensão da mensagem pelos estudantes do grupo B, P1 informa mediante sinal direto – “*Diferente da maioria das vidrarias utilizadas no laboratório e dos materiais utilizados no dia a dia, na bureta a leitura é realizada de cima para baixo. Então, o volume que vocês escoaram não é 15,3, mas 14,7. Para serem 15,3 mL, vocês têm que deixar escoar até essa marcação. Então vocês têm que deixar escoar mais 6,0 mL para chegar ao volume de 15,3 mL*” – e, depois, ordena mediante sinais na seguinte forma oral – “[...] *acertem o menisco até a marcação de 15,3 mL*” – e – “*façam o escoamento de 9,7 mL*”. Seguidamente, E7 realiza novamente as medidas solicitadas por P1 de forma correta. Logo, em relação

ao entendimento provocado pelos sinais, após a emissão da indicação circunstancial, se pode afirmar que esses levam A7 a um estado de “compreensão”, posto que ele consegue compreender a mensagem do sinal.

No grupo D, P1, por intermédio do sinal na forma de ato sêmico de ordem, diz – *“Oh, prestem atenção. Observem.”* – e, concomitante, sem falar palavra alguma, faz gestos de cima para baixo, exibidos na figura 24, apontando na bureta a marca zero na parte superior e a marca de 25 mL na parte inferior. No momento instrucional especificado, a atuação gestual de P1 dá dica aos estudantes de que o volume escoado não é 11,4 mL. Justamente nesse instante, há emissão de uma indicação circunstancial, posto que se trata de um signo gestual que sinaliza a A17 que a leitura do volume foi realizada de forma inadequada. A indicação é emitida para indicar, de maneira sugestiva, que a leitura foi realizada incorretamente. Em vez de transmitir diretamente um sinal como, por exemplo: *“A leitura do volume está errada, pois as medições na bureta devem ser feitas de cima para baixo”*, P1 busca com a gesticulação dirigir a atenção dos estudantes para que eles percebam de forma independente o cometimento do engano. Como se verifica na fala de A17, – *“É mesmo, professora. A leitura deve ser feita de cima para baixo. O volume escoado foi 10,6 mL”* – a indicação circunstancial na forma de signo gestual emitida por P1 conseguiu efetivar nesse estudante um estado de compreensão.

Para finalizar a superação do equívoco, nos dois grupos, P1 solicita que os estudantes realizem o escoamento de 9,7 mL de água e, logo após, verifica que ambos os aprendizes, A8 e A17, realizam o procedimento de modo correto. Portanto, as emissões das indicações circunstanciais auxiliam os estudantes a ultrapassarem o equívoco, inicialmente cometido em razão do *affordance* negativo da bureta. Na figura 26, mostramos o resumo dos tópicos “discussão do dado” e “superação do equívoco”.

Figura 26 – Esquema da análise e discussão do caso 8



Fonte: Autores (2021)

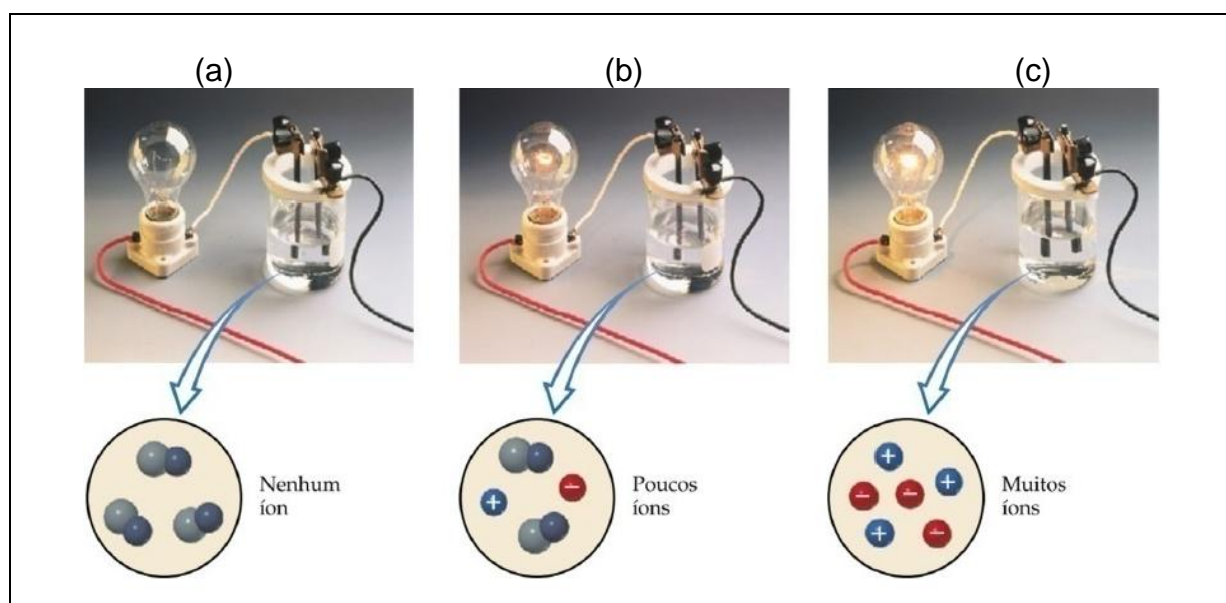
6.9 CASO 9 – EQUÍVOCO CONCEITUAL INFLUENCIADO POR *AFFORDANCE* NEGATIVO NA REPRESENTAÇÃO EXPERIMENTAL E IMAGÉTICA

Apresentação do dado

Este caso refere-se à aula 7, em que foi realizada uma prática experimental para determinar a condutibilidade elétrica de diferentes materiais. Na figura 27, exibida por P1, é mostrado um dispositivo, normalmente utilizado para detectar íons. De acordo com a figura, em (a) uma solução de não-eletrólitos não

contém íons e a lâmpada não acende. Em (b) e (c) uma solução de eletrólitos contém íons que servem como transportadores de carga e fazem com que a luz acenda. Se a solução contém poucos íons, a lâmpada apresenta brilho fraco, como em (b). Se a solução contém muitos íons, a lâmpada brilha intensamente, como mostrada na parte (c) (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005, p. 103).

Figura 27 – Dispositivo utilizado para detectar íons em solução



Fonte: BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005, p. 103.

Durante a realização do experimento, a imagem fica exposta no quadro do laboratório, projetada pelo *data show*. Para fornecer explicações a respeito da atividade experimental, P1 usa a figura para fazer a seguinte declaração verbal – “Como vemos na imagem, quando a lâmpada acender significa que há presença de íons e, se não acender, é porque se trata de uma solução não eletrolítica, o que significa que não tem íons livres na solução”.

Na execução da prática, equívocos conceituais ficam evidentes na explicação dos estudantes relacionados à composição do cloreto de sódio (NaCl) no estado sólido. Integrantes dos grupos A, B e C cometem a mesma incorreção conceitual, discriminada nos trechos selecionados de suas falas.

Grupo A

A2: O sal de cozinha, no estado sólido, não acende porque não tem nenhum íon.

P1: *Tem certeza? Mas como acontece a formação do cloreto de sódio?*

A3: *O sódio transfere elétrons para o cloro.*

P1: *Então, vocês podem concluir que não tem íons no cloreto de sódio no estado sólido só por que a lâmpada não se acende?*

A2: *Verdade, professora. Tem íons sim. O NaCl sólido é formado por íons, mas no estado sólido a lâmpada não acende porque os íons do sal não estão dissociados. Em solução aquosa, eles se dissociam conduzindo corrente elétrica. É isso?*

P1: *Isso mesmo.*

Grupo B

A6: *O sal, na sua forma sólida, não acende porque em seu estado fundamental ele não possui íons.*

A8: *Claro que tem íons, só que eles não estão dissociados. Daí, em água, o NaCl acende porque ele dissocia os íons Na^+ e Cl^- .*

A6: *Mas o sal em estado sólido, sem estar em forma aquosa, não tem íons, por isso não conduz corrente elétrica. As substâncias sólidas não são eficazes na condução de eletricidade, daí por conta da falta da presença de íons a lâmpada não acende.*

A8: *Para mim, não acende porque no caso do sal, como composto sólido, ele não terá íons soltos, por isso que não conduz corrente elétrica, mas quando dissolvido em água, faz com que os íons fiquem suspensos na solução, conduzindo corrente.*

A6: *Então quer dizer que em água tem a presença de íons livres na solução, que permite a passagem da corrente, por causa da dissociação da substância. Daí tem os íons positivos e negativos que permitem a passagem de corrente elétrica.*

A8: *Sim. No estado sólido, os íons estão presos no composto, mas em solução eles ficam soltos conduzindo eletricidade.*

A6: *Entendi.*

Grupo C

A13: *No caso do sal, não acende porque não tem a presença de íons e por se tratar de um sólido. Como não tem íons, não acende. A sua ligação é iônica, mas ele não possui a organização da ligação metálica que conduz corrente elétrica, por isso ele não é condutor.*

A11: *Não. O sal só apresenta eletricidade em contato com a água devido à liberação dos íons que estavam presos no retículo. No sólido, a lâmpada não acende por causa do retículo que envolve o composto.*

A13: *Tá. Quando o sal está na água, a ligação iônica entre o sódio e o cloro se desfaz, liberando os íons Na^+ e Cl^- na solução.*

Discussão do dado

Nos excertos das falas, colocadas anteriormente, sublinhamos os erros conceituais dos estudantes – (A2): *“O sal de cozinha, no estado sólido, não acende porque não tem nenhum íon”*; (A6): *“O sal, na sua forma sólida, não acende porque em seu estado fundamental ele não possui íons”* e (A13): *“No caso do sal não acende porque não tem a presença de íons e por se tratar de um sólido. Como não tem íons não acende [...]”*. Pelos fragmentos discursivos, fica notório que, para esses estudantes, o NaCl no estado sólido não é formado por íons. No entanto, conforme instrução oral de P1, no início da aula – *“Como vemos na imagem, quando a lâmpada acender significa que há presença de íons e, se não acender é porque se trata de uma solução não eletrolítica, o que significa que não tem íons livres na solução”* –, a lâmpada apagada indica que não há íons livres para a condução de corrente elétrica, o que não quer dizer que não tem íons na composição do composto iônico no estado sólido.

O engano conceitual cometido por A2, A6 e A13 é influenciado pelo fato de a lâmpada não se acender e, pela representação escrita, nenhum íon, na parte (a) da figura 27, observada por eles durante a realização do experimento. De outra forma, a lâmpada apagada mais a representação escrita, na parte (a) da imagem, levam os estudantes, acima mencionados, a concluir que o composto iônico NaCl, no estado sólido, não é formado por íons. Assim, a característica do teste da condutibilidade elétrica associada ao fato de a lâmpada não acender para o NaCl sólido, mais a forma representacional escrita, funciona como *affordance* negativo, que incita A2, A6 e A13 às interpretações inadequadas do ponto de vista científico. Conclui-se que o equívoco conceitual: no estado sólido, o cloreto de sódio não contém íons, é estimulado pelo *affordance* negativo correspondente ao motivo de a lâmpada permanecer apagada e a escrita na representação imagética.

Por consequência dos equívocos, instigados pelo *affordance*, evidencia-se na fala de A13 – *“[...] A sua ligação é iônica, mas ele não possui a organização da ligação metálica que conduz corrente elétrica, por isso ele não é condutor”*, a não compreensão do conceito de ligações iônicas e ligações metálicas. E, no trecho de A6 – *“[...] as substâncias sólidas não são eficazes na condução de*

eletricidade” –, outro erro conceitual, ao afirmar que as substâncias sólidas não são capazes de conduzir corrente elétrica. Logo, observamos falhas de conceitos decorrentes dos equívocos imputados ao *affordance* negativo.

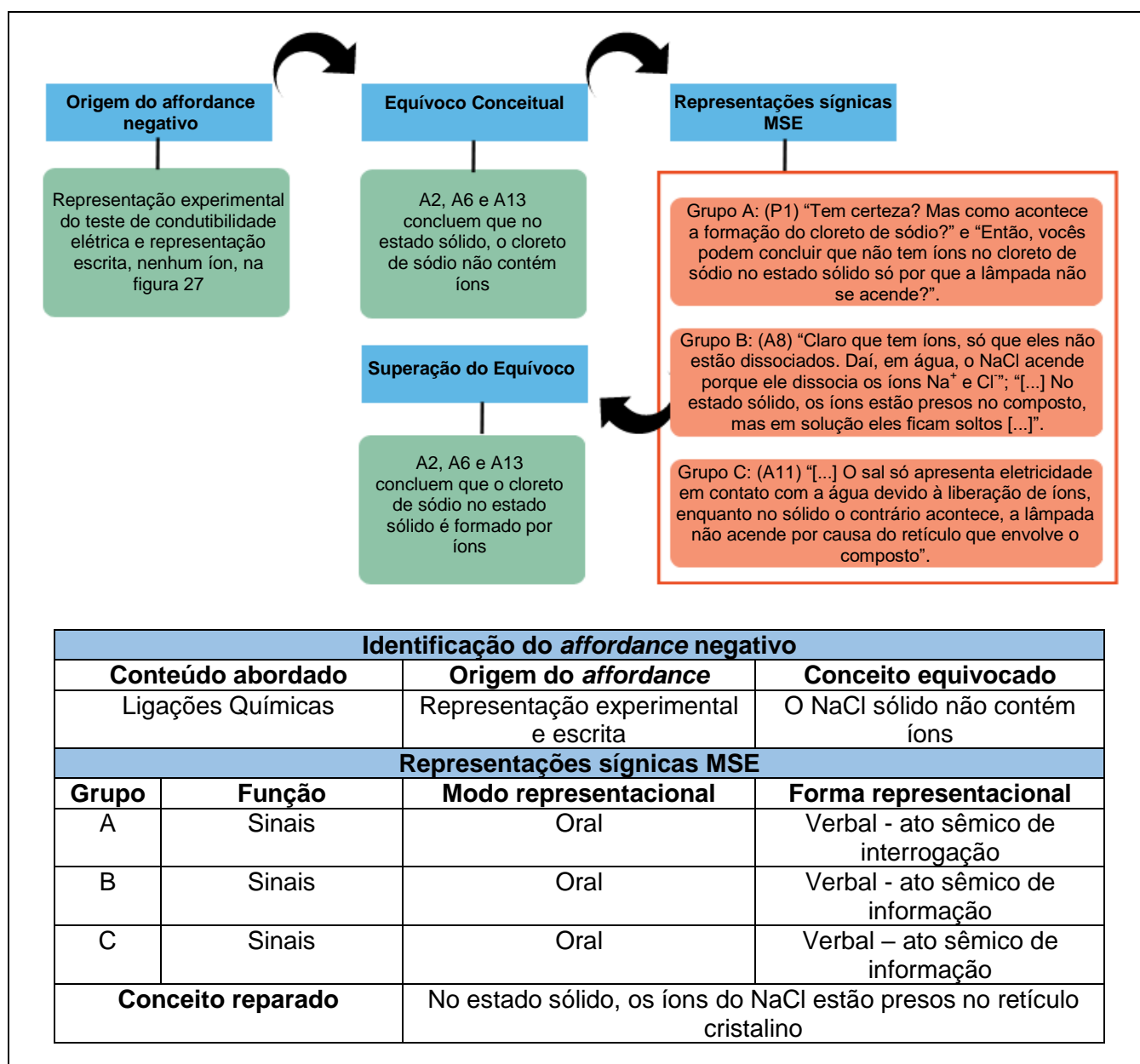
Superação do equívoco

No grupo A, para levar A2 ao estado de compreensão, P1 emite signos expressos na forma de atos sêmicos de interrogação – “*Tem certeza? Mas como acontece a formação do cloreto de sódio?*” e “*Então, vocês podem concluir que não tem íons no cloreto de sódio no estado sólido só por que a lâmpada não se acende?*”. Depois desses questionamentos, A2 explica corretamente o motivo de a lâmpada não acender para o NaCl no estado sólido ao afirmar – “*O NaCl sólido é formado por íons, mas no estado sólido a lâmpada não acende porque os íons do sal não estão dissociados. Em solução aquosa, eles se dissociam conduzindo corrente elétrica*”. Os atos sêmicos de tipo interrogação utilizados por P1 sugestionam e conduzem A2 ao entendimento correto de forma independente. Por essa razão, neste caso, as perguntas durante o momento instrucional especificado se legitimam como signos com função de indicação circunstancial.

Nos outros grupos, A8 do grupo B e A11 do C, por meio de sinais explícitos e diretos na forma de atos sêmicos de informação – (A8): “*Claro que tem íons, só que eles não estão dissociados. Daí, em água, o NaCl acende porque ele dissocia os íons Na^+ e Cl^-* ”; “[...] *não acende porque no caso do sal como composto sólido ele não terá íons soltos, por isso que não conduz corrente elétrica, mas quando dissolvido em água faz com que os íons fiquem suspensos na solução, conduzindo corrente*”; “[...] *No estado sólido, os íons estão presos no composto, mas em solução eles ficam soltos conduzindo eletricidade*” e (A11): “[...] *O sal só apresenta eletricidade em contato com a água devido à liberação de íons, enquanto no sólido o contrário acontece, a lâmpada não acende por causa do retículo que envolve o composto*” – auxiliam os colegas, A6 e A13, respectivamente, a compreenderem o fenômeno químico ocorrido. Os estudantes A6 e A13 alcançam o estado de compreensão da mensagem científica, como fica evidente em suas falas – (A6): “*Então quer dizer que em água tem a presença de íons livres na solução, que permite a passagem da corrente, por causa da dissociação da substância. Daí tem os íons positivos e negativos que permitem a passagem de corrente elétrica*” e

(A13): “[...] quando o sal está na água, a ligação iônica entre o sódio e o cloro se desfaz, liberando os íons Na^+ e Cl^- na solução”. Mostramos que A8 e A11 auxiliam o entendimento dos colegas de grupos, A6 e A13, ao fazer uso de signos com função de sinais, subsidiados pela forma representacional verbal, para informar a causa de o NaCl no estado sólido não conduzir corrente elétrica. Então, o emprego dos atos sêmicos de tipo informação se justificam como sinais, pois propiciam objetividade na transmissão da mensagem. Na figura 28, apresentamos um esquema dos resultados e discussão deste caso.

Figura 28 – Esquema da análise e discussão do caso 9



Fonte: Autores (2021)

A seguir, mencionamos algumas reflexões a respeito das questões que emergiram na análise dos casos.

No tópico “discussão do dado”, evidenciamos que enganos podem ser instigados por *affordances* negativos inerentes às peculiaridades morfológicas dos signos. A ideia de *affordances* negativos permitiu examinar falhas de conceitos e de procedimentos recorrentes em aulas de química. Os exemplos ilustrados confirmam a presença de *affordances* negativos em variadas formas representacionais. No quadro 14, mostramos as formas de representação, na qual foi possível identificar os elementos provocadores dos equívocos e os respectivos casos analisados.

Quadro 14 – *Affordances* negativos em variadas formas representacionais e os casos analisados

<i>Affordances</i> negativos na forma representacional	Casos
Diagramática	7
Experimental	3 e 9
Gráfica	2 e 6
Imagética	1 e 9
Simbólico-Matemática	5 – Parte 1, 2 e 3
Textual	1
Verbal	2
Representação 3D	4 e 8

Fonte: Autores (2021)

A partir dos resultados obtidos, destacamos que um dos modos para se desenvolver um bom trabalho pedagógico é identificar os *affordances* negativos, associados às informações inerentes de representações semióticas, uma vez que, incorreções conceituais e procedimentais podem ser motivadas por esses *affordances*. Assim, questionar como peculiaridades das formas das representações influenciam a compreensão dos estudantes, possibilita ao professor identificar a causa de obstáculos na aprendizagem. Entretanto, questões relacionadas aos atributos das formas representacionais são pouco exploradas nas discussões da educação científica, por serem consideradas triviais pelos professores. Todavia, como demonstrado, elas são elementos de empecilho para a aprendizagem de química, já que podem encobrir falhas de conceituação e equívocos de manipulação.

Fundamentados nos elementos da teoria da comunicação de Prieto

(1973), realizamos a análise discursiva, a fim de caracterizar as representações sógnicas MSE e compreender como os estudantes alcançaram a compreensão do conhecimento científico ou da operação procedimental, após o cometimento dos erros. No tópicó “superação do equívoco”, investigamos as funções e tipos das representações sógnicas MSE expressas pelos professores durante interlocução instrucional. Essa qualificação orientou a análise da dinâmica do processo comunicacional adotado pelo professor para levar o aprendiz à reparação do equívoco influenciado pelo *affordance* negativo.

Os signos com função de sinais conferiram objetividade à transmissão da mensagem. Confirmamos que, principalmente, os sinais foram expressos mediante forma verbal através das categorias sociais do ato sómico, predominantemente, do tipo informação. Em alguns casos, como por exemplo, casos 4, 5 (Parte 2), 7 e 9, percebemos que a diretividade dos sinais levou os estudantes a ultrapassarem os equívocos. Em particular, no caso 4, a transmissão por meio dos sinais diretos partiu dos estudantes, levando os colegas do grupo à execução do procedimento de forma correta.

Reforçamos que um ensino feito exclusivamente por sinais, torna passiva a posição do estudante no processo de construção autônoma do conhecimento científico. Contudo, em determinados momentos instrucionais a transmissão de sinais se faz necessária para levar o estudante à compreensão da mensagem científica comunicada. Por isso, cabe ao professor analisar como os estudantes respondem às mensagens emitidas por meio das funções sógnicas, sinais e indicações circunstanciais. Nos casos 1, 2, 6 e 8, as emissões de sinais e indicações circunstanciais atuaram conjuntamente para auxiliar os estudantes a superarem os erros influenciados pelos *affordances* negativos.

Os signos com função de indicações circunstanciais atuaram na comunicação com finalidade de assistir, contextualizar e complementar as mensagens incompreendidas dos sinais antecedentes. Observamos que tais elementos semióticos propiciaram a reflexão dos estudantes rumo ao entendimento da mensagem de forma independente. Houveram casos em que a emissão de uma indicação circunstancial foi suficiente para os estudantes darem indícios de superação do equívoco, como caso 2 (Parte 1), caso 5 (Parte 1 e 3) e caso 8. Em contrapartida, nos casos 1, 2 (Parte 2) e 6, mais de uma indicação circunstancial foi necessária para que o aprendiz percebesse e ultrapassasse o erro praticado.

O uso de indicações circunstanciais não é uma prática pedagógica simples de ser conduzida em situações de ensino imprevistas. Por isso, planejar aulas com base nesse instrumento semiótico, tendo em consideração acontecimentos que podem vir a ocorrer durante o percurso de ensino, deixa o professor mais preparado para enfrentar com destreza os problemas de aprendizagem dos estudantes. Dessa maneira, o planejamento de indicações circunstanciais propicia ao professor conduzir um ensino reflexivo, aberto e questionador com fins de levar os estudantes a uma aprendizagem com maior significação dos conceitos e dos procedimentos.

As mensagens emitidas por meio das indicações circunstanciais se manifestaram no discurso científico através de diferentes formas representacionais, como verbal (Caso 1; Caso 2 – parte 2, Caso 5 – partes 1 e 3; Caso 6 e Caso 8), escrita (Caso 5 – parte 3; Caso 6), tabular (Caso 1), gráfica (Caso 2 - parte 1; Caso 6), gestual (Caso 2 – parte 1; Caso 6; Caso 8), simbólico-matemática (Caso 2 – parte 2; Caso 5 – partes 1 e 3), imagética (Caso 5, parte 1) e experimental (Caso 5 – parte 1). Assim sendo, mostramos que o emprego de indicações circunstanciais oportuniza um discurso multirepresentacional relevante no processo de ensino e de aprendizagem. Além disso, o uso de indicações circunstanciais durante interação discursiva apresentou maior potencial para direcionar os estudantes a darem indícios de uma compreensão dos conteúdos conceituais e procedimentais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação residiu na identificação dos equívocos conceituais e procedimentais, cometidos por estudantes durante aprendizagem de química, influenciados por *affordances* negativos e, na qualificação dos sinais e indicações circunstanciais, empregados pelo emissor no processo discursivo, que encaminharam o raciocínio dos estudantes à superação dos enganos.

No decorrer da análise dos casos, destacamos as características constitutivas e detalhes morfológicos dos signos que funcionaram como *affordances* negativos e, por consequência, convidaram os estudantes ao erro. Dentre os resultados obtidos, constatamos *affordances* negativos nos objetos, diagramas, gráficos, experimentos, equações, fórmulas químicas e imagens. Como os dados indicaram, formas de representação não manipulativas também apresentaram *affordances* negativos. De maneira genérica, mostramos que a ocorrência de mal-entendidos pode ser influenciada pela presença de *affordances* negativos em diferentes representações sígnicas. Para tal fim, perscrutamos as relações errôneas na aprendizagem dos estudantes instigadas pelos *affordances* negativos, a partir dos modos representacionais oral e gestual. Dessa forma, obtivemos no referencial da multimodalidade representacional a fonte teórica para analisar as interpretações e operações procedimentais dos aprendizes durante instrução científica no laboratório didático. Inclusive, o rico ambiente natural simbólico de química favoreceu o uso e trânsito dos aprendizes por diferentes formas representacionais, o que potencializou a revelação dos *affordances* e a superação das falhas na aprendizagem.

As reflexões feitas a partir dos dados contribuem para que os professores se atentem à existência de *affordances* negativos, intrínsecos aos signos, estimuladores de incompreensões conceituais e incorreções procedimentais. Embora alguns casos analisados sejam descomplicados, eles fornecem a base do conhecimento químico sobre a qual os conceitos científicos mais complexos são construídos. Os enganos, evidenciados neste estudo, são recorrentes na aprendizagem dos estudantes e já verificados em pesquisas da área de ensino de ciências, porém, na maioria das vezes, o motivo dos desvios de aprendizagem não é explicitado. Por isso, os resultados desta investigação permitem refletir a respeito

das origens das concepções conceituais distorcidas e manipulações incorretas dos aprendizes do ponto de vista do conceito de *affordances* negativos.

Sob esse enfoque, o trabalho espera contribuir para auxiliar o professor a tomar conhecimento dos *affordances* negativos a fim de se identificar e trabalhar os desvios na construção do conhecimento, além de antever as possíveis ações e concepções inadequadas dos estudantes. Argumentamos que a identificação dos *affordances* negativos de diferentes representações sógnicas, feita previamente pelo professor, permite estimular uma discussão diferenciada dos equívocos que eles podem trazer às ações e aos entendimentos dos estudantes. E ainda, enfatizamos que identificar e compreender tais elementos se tornam os primeiros passos para subsidiar ações pedagógicas com a finalidade de superar obstáculos na aprendizagem.

Ademais, com a finalidade de verificar se as incorreções influenciadas por *affordances* negativos foram ultrapassadas, identificamos os elementos semióticos, sinais e indicações circunstanciais, que direcionaram o raciocínio dos estudantes para o correto entendimento dos conceitos e procedimentos envolvidos no ensino e aprendizagem de química. Durante as análises, identificamos as formas e modos das representações e atos sêmicos de manifestação dos signos, transmitidos na interação dialógica do professor para o(s) estudante(s), que guiaram o pensamento desses últimos à superação dos seus enganos.

Conforme discutido, a emissão de sinais diretos pelo professor no processo de interlocução levou objetividade ao entendimento da mensagem, minimizando um pensamento reflexivo do estudante para a resolução de suas incompreensões. Ao contrário, as indicações circunstanciais, como instrumento semiótico auxiliar à compreensão dos sinais, encaminharam o raciocínio independente dos aprendizes à reparação dos equívocos. Isto porque, o professor ao lançar indicações circunstanciais, por meio de pistas, dicas e sugestões aos estudantes no processo de interlocução, incita o pensamento autônomo do aprendiz à compreensão do que está sendo comunicado e, por conseguinte, esse consegue revisar o seu equívoco e, assim, ultrapassá-lo. Por isso, essa função sógnica potencializa nos estudantes uma aprendizagem de maior qualidade e significação e favorece um pensamento crítico.

Os signos no discurso científico se manifestaram, por intermédio de

diversas formas de representação, como gestos, gráficos, equações químicas, experimentos, imagens e, principalmente, atos sêmicos variados. Mostramos que a emissão de representações sígnicas na interação discursiva auxiliou os estudantes a ultrapassarem as falhas estimuladas por *affordances* negativos. Notadamente, a funcionalidade dos signos decorreu de encaminhamentos discursivos durante os momentos de aprendizagem em química.

O desenvolvimento da tese proporciona ao profissional da educação e pesquisadores, informações a respeito dos *affordances* negativos e das funções e tipos de representações sígnicas emitidas durante encaminhamentos dialógicos em situações de ensino de química. Em particular, a investigação se circunscreveu ao ensino dos conteúdos dessa ciência, porém a identificação de *affordances* negativos e a funcionalidade dos signos no percurso comunicativo independem do domínio conceitual e níveis de ensino. Essencialmente, a contribuição da tese para a área de ensino de ciências e educação matemática consiste em possibilitar àquele que ensina analisar, antecipar, compreender, direcionar e problematizar os erros de conceitos e procedimentos estabelecidos pelos estudantes.

Por fim, vislumbramos refinar pesquisas do conceito com base nos *affordances* positivos, que ao contrário dos negativos, convidam potencialmente o aprendiz à ação e ao significado mais aceito pela comunidade científica. Nesse sentido, pretendemos investigar mais profundamente esse viés, tendo em vista desenvolver atividades, materiais e instrumentos didáticos com *affordances* positivos, isto é, *affordances* mais convidativos ao manuseio e/ou interpretações na direção do que se deseja ensinar. Portanto, essa proposta dos positivos é uma ideia que, sem dúvida, será explorada. Finalizamos a tese com a ambição de avançar e fornecer mais detalhes, tanto do conceito de *affordances* negativos quanto dos positivos.

REFERÊNCIAS

- AINSWORTH, S. The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts. In: **Visualization: Theory and practice in science education**. Springer, Dordrecht, p. 191-208, 2008.
- AINSWORTH, S. The functions of multiple representations. **Computers & education**, v. 33, n. 2-3, p. 131-152, 1999.
- AIREY, J.; LINDER, C. A disciplinary discourse perspective on university science learning: Achieving fluency in a critical constellation of modes. **Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching**, v. 46, n. 1, p. 27-49, 2009.
- ARZARELLO, F.; PAOLA, D.; ROBUTTI, O.; SABENA, C. Gestures as semiotic resources in the mathematics classroom. **Journal Educational Studies in Mathematics**, v. 70, n. 2, 2009.
- AZEVEDO, L. L.; et al. Recursos de expressividade usados por uma professora universitária. **Distúrbios da Comunicação**, v. 26, n. 4, 2014.
- BARTHES, R. **Elementos de Semiologia**. Editora Cultrix, 19. ed, São Paulo, 2012.
- BEN-ZVI, R.; et al. Students' visualisation of a chemical reaction. **Education in Chemistry**, v. 24, n. 4, p. 117-120, 1987.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação Qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Trad.: Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista. Portugal: Porto Editora, 1994.
- BROWN, T. L.; LEMAY, H. E; BURSTEN, B. E. **Química: A ciência central**. Editora Pearson Prentice Hall, 9. ed, São Paulo, 2005.
- BUYSSENS, E. **Semiologia & comunicação linguística**. Editora Cultrix, 2. ed, São Paulo, 1974.
- BURLAMAQUI, L.; DONG, A. The use and misuse of the concept of affordance. In: J. S. Gero (Ed.), **Design computing and cognition**. London: Springer, v. 14, p. 1-10, 2014.
- CAMARGO-FILHO, P. S. de. **Estratégia de ensino multirepresentacional aplicada para o desenvolvimento do conceito de medição**. 2014. 319 p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
- CHICK, H. L.; PIERCE, R. Teaching for statistical literacy: Utilising affordances in real-world data. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 10, n. 2, p. 339-362, 2012.
- COJOCARIU, V. M.; BUTNARU, C. E. Asking questions - critical thinking tools.

Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 128, p. 22-28, 2014.

COUTINHO, M. J.; ALMEIDA, P. A. Promoting student questioning in the learning of Natural Sciences, **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 116, p. 3781-3785, 2014.

CORRAZE, J. **As comunicações Não-Verbais**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982.

DE LAPLANTE, K. Toward a more expansive conception of ecological science. **Biology and Philosophy**, v. 19, n. 2, p. 263-281, 2004.

DISESSA, A. Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. **Cognition and instruction**, v. 22, n. 3, p. 293-331, 2004.

DUVAL, R. A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. **Educational Studies in Mathematics**, v. 61, p. 103-131, 2006.

DRIVER, R.; HILARY; A. LEACH, J.; MORTIMER, E.; SCOTT, P. Constructing scientific knowledge in the classroom. **Educational Researcher**, v. 23, n. 7, p. 5-12, 1994.

ECO, U. **As formas do conteúdo**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

_____. **O signo**. Lisboa: Editorial Presença, LDA, 1985.

_____. **A estrutura ausente: introdução à pesquisa semiológica**. São Paulo: Perspectiva, 2005.

_____. **Tratado geral de semiótica**. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 2014.

EDWARDS, L. D. Gestures and conceptual integration in mathematical talk. In: **Journal Educational Studies in Mathematics**, v. 70, n. 2, p. 127-141, 2009.

EDWARDS, L. D.; ROBUTTI, O. Embodiment, modalities, and mathematical affordances. **Emerging perspectives on gesture and embodiment in mathematics**, p. 1-23, 2014.

EYSENCK, M. W.; KEANE, M. T. **Psicologia cognitiva: um manual introdutório**. Porto Alegre: Artes médicas, 1994.

FIDALGO, A. **Semiótica: a lógica da comunicação**. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 1998. Disponível em: < bocc.ubi.pt > Acesso em: 01 maio. 2020.

FIDALGO, A.; GRADIM, A. **Manual da Semiótica**. 2005. Disponível em: <<http://www.bocc.ubi.pt/pag/fidalgo-antonio-manual-semiotica-2005.pdf>>. Acesso em 23 abril 2020.

FODOR, J. A.; PYLYSHYN, Z. W. How direct is visual perception? Some reflections on Gibson's ecological approach. **Cognition**, 1981.

FRASSON, F.; LABURÚ, C. E.; ZOMPERO, A. F. Aprendizagem significativa conceitual, procedimental e atitudinal: uma releitura da teoria ausubeliana. **Revista Contexto & Educação**, v.34, n.108, p. 303–318, 2019.

FREDLUND, T.; AIREY, J.; LINDER, C. Exploring the role of physics representations: an illustrative example from students sharing knowledge about refraction. **European Journal of Physics**, v. 33, n. 3, p. 657-666, 2012.

FREITAS, M. T. A. **Vygotsky & Bakhtin**. Psicologia e Educação: um intertexto. 2. ed. São Paulo: Ática, 1995.

GARDNER, H. **Mentes que mudam**: a arte e a ciência de mudar nossas ideias e as dos outros. Porto Alegre: Artmed, 2005.

GIBSON, E. J.; PICK, A. D. **An ecological approach to perceptual learning and development**. Oxford University Press, USA, 2000.

GIBSON, J. J. **The ecological approach to visual perception**. Boston: Houghton Mifflin. 1979.

GIBSON, J. **The ecological approach to visual perception**. New York: Lawrence Erlbaum Associates, 1986.

GODOY, M. T. **Indicações circunstanciais como signos potencializadores da aprendizagem significativa de conceitos na experimentação animal**. 2016. 259 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

GODOY, M. T.; LABURÚ, C. E. **Indicações Circunstanciais como signos potencializadores da aprendizagem significativa subversiva em conceitos de experimentação animal**. Porto Alegre: Editora Fi, 2021.

GRECA, I. M. Representaciones mentales. In: MOREIRA, M. A. **Representações mentais, modelos mentais e representações sociais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. p. 7-43.

GREENO, J. G. **Gibson's affordances**. 1994.

GREENO, J. G.; GRESALFI, M. S. Opportunities to learn in practice and identity. In: Moss, P. A.; et al. **Assessment, equity, and opportunity to learn**, p. 170-199, 2008.

GREGÓRIO, A. P. H.; LABURÚ, C. E. Aplicações do conceito *affordances* no ensino de ciências. In: **VI SINECT** – Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia. Ponta Grossa. 2018.

GREGÓRIO, A. P. H.; LABURÚ, C. E.; ZÔMPERO, A. F. Enfoques do conceito *affordances* aplicados nas pesquisas em ensino de Ciências. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 11, n. 1, e.5538, p. 1-14, 2021.

GRESALFI, M. S.; BARNES, J.; CROSS, D. When does an opportunity become an opportunity? Unpacking classroom practice through the lens of ecological psychology. **Educational Studies in Mathematics**, v. 80, n. 1-2, p. 249-267, 2012.

HAMMOND, M. What is an affordance and can it help us understand the use of ICT in education? **Education and Information Technologies**, v. 15, p. 205-217, 2010.

HOBAN, G.; NIELSEN, W. Creating a narrated stop-motion animation to explain science: The affordances of “Slowmation” for generating discussion. **Teaching and Teacher Education**, v. 42, p. 68-78, 2014.

JAIPAL, K. Meaning making through multiple modalities in biology classroom: a multimodal semiotics discourse analysis. **Science Education**, v. 94, n. 1, p. 48-72, 2010.

JANUÁRIO, G. **Marco conceitual para estudar a relação entre materiais curriculares e professores de Matemática**. 2017. 194p. Tese (Doutorado em Educação Matemática). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. 2017.

JANUÁRIO, G.; LIMA, K.; MANRIQUE, A. L. A relação professor-materiais curriculares como temática de pesquisa em Educação Matemática. **Educação Matemática Pesquisa: Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação Matemática**, v. 19, n. 3, p. 414-434, 2017.

JANUÁRIO, G.; MANRIQUE, A. L.; PIRES, C. M. C. Conceitos de *affordance* e de agência na relação professor-materiais curriculares em Educação Matemática. **Bolema: Boletim de Educação Matemática**, v. 32, n. 60, p. 1-30, 2018.

JOLY, M. **Introdução à análise da imagem**. 7.ed. Papirus Editora: 2004.

KENNEWELL, S. Using affordances and constraints to evaluate the use of information and communications technology in teaching and learning. **Journal of Information Technology for Teacher Education**, v. 10, n. 1-2, p. 101-116, 2001.

KIM, M.; ROTH, W. M.; THOM, J. Children’s gestures and the embodied knowledge of geometry. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 9, n. 1, p. 207-238, 2011.

KIRSCHNER, P. A. Can we support CCSL? Educational, social and technological affordances for learning. In: KIRSCHNER, P. A. **Three worlds of CSCL: can we support CSCL?** Heerlen: Open University of the Netherlands, 2002. p. 7-47.

KOZMA, R. B. The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. **Learning and Instruction**, v. 13, n. 2, p. 205-226, 2003.

KOZMA, R. B. The use of multiple representations and the social construction of understanding in chemistry. In: M. Jacobson & Kozma (eds), **Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for Technologies of learning**, p.11-46), 2000.

KOZMA, R. B.; RUSSELL, J. Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 43, n. 9, p. 949-968, 1997.

KLEIN, P. D. Rethinking the multiplicity of cognitive resources and curricular representations: Alternatives to 'learning styles' and 'multiple intelligences'. **Journal of curriculum studies**, v. 35, n. 1, p. 45-81, 2003.

KRESS, G. **Multimodality: A social semiotic approach to contemporary communication**. Taylor & Francis, 2010.

KRESS, G.; et al. **Multimodal teaching and learning: the rhetorics of the science classroom**. London: Continuum, 2001.

LABURU, C. E.; CARVALHO, M. **Educação científica: controvérsias construtivistas e pluralismo metodológico**. Londrina: Eduel, 2005.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A.; SILVA, O. H. M. Multimodos e múltiplas representações, aprendizagem significativa e subjetividade: três referenciais conciliáveis da educação científica. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 2, p. 469-487, 2011.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. Multimodos e múltiplas representações: fundamentos e perspectivas semióticas para a aprendizagem de conceitos científicos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 7-33, 2011a.

_____. O laboratório didático a partir da perspectiva da multimodalidade representacional. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 3, p. 721-734, 2011b.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.; ZÔMPERO, A. F. Significados de eletrostática interpretados por meio da gesticulação de estudantes. **Ciência & Educação**, v. 21, n. 4, p. 851-867, 2015.

_____. Affordances dos materiais como indutores de equívocos durante experimentos para o ensino de física. **Ensaio**. Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v.19, 2017.

LABURÚ, C. E.; ZÔMPERO, A. F.; BARROS, M. A. Vygotsky e múltiplas representações: leituras convergentes para o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 7-24, 2013.

LABURÚ, C. E.; GODOY, M. T.; ZÔMPERO, A. F. Caracterização das indicações circunstanciais emitidas durante atividade discursiva por um professor de ciências: uma leitura semiótica. **Ensaio**. Pesquisa em Educação em Ciências, v. 18, n. 3, p. 31-50, 2016.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.; CAMARGO FILHO, P. S. **Semiótica aplicada à Educação Científica**: signos de tipo indicações circunstanciais emitidos pelo professor em atividade discursiva. São Paulo: Livraria da Física, 2021.

LEMKE, J. L. Mathematics in the middle: Measure, picture, gesture, sign, and word. **Educational perspectives on mathematics as semiosis**: From thinking to interpreting to knowing, v. 1, p. 215-234, 2003.

McGRENERE, J.; HO, W. Affordances: Clarifying and evolving a concept. In: **Proceedings of Graphic Interface**. Montreal, p. 179-186, 2000.

NORMAN, D. A. **The psychology of everyday things**. Basic books, 1988.

NORMAN, D. A. **O design do Dia-a-Dia**. Copyright 1988, Rio de Janeiro: Editora Rocco LTDA, 2002.

NORMAN, D. A. The way I see IT signifiers, not affordances. **Interactions**, v. 15, n. 6, p. 18-19, 2008.

OLIVEIRA, M. K. **Vygotsky, aprendizado e desenvolvimento. Um processo sócio-histórico**. Série Pensamento e Ação no Magistério. Editora Scipione, São Paulo, SP, 1993.

OLIVEIRA, F. I. S.; RODRIGUES, S. T. **Affordances: a relação entre agente e ambiente**. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

OLIVEIRA, F. I. S.; RODRIGUES, S. T. Críticas gibsonianas à perspectiva representacionista da percepção visual. **Ciência e Cognição**, v. 6, p. 98-108, 2005.

OLIVEIRA, F. I. S.; RODRIGUES, S. T. *Affordances*: a relação entre agente e ambiente. **Ciência e Cognição**, v. 9, p. 120-130, 2006.

PADILHA, J. N.; CARVALHO, A. M. P. Gestos e palavras utilizados pelos alunos do ensino fundamental em uma aula de conhecimento físico. In: **XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Curitiba. 2008.

PEREIRA, R. R.; MORTIMER, E. F.; MORO, L. Os Gestos Recorrentes e a Multimodalidade em aulas de química orgânica no Ensino Superior. **Química Nova na Escola**, v. 37, p. 43-54, 2015.

PEIRCE, C. S. **Semiótica**. São Paulo: Perspectiva, 2017.

PICCININI, C.; MARTINS, I. Comunicação multimodal na sala de aula de ciências: construindo sentidos com palavras e gestos. **Ensaio**. Pesquisa em Educação em Ciências, v. 6, n. 1, p. 26-40, 2004.

PODOLEFSKY, N. S.; PERKINS, K. K.; ADAMS, W. K. Factors promoting engaged exploration with computer simulations. **Physical Review Special Topics-Physics Education Research**, v. 6, n. 2, p. 020117, 2010.

POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. A. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRAIN, V.; TYTLER, R. Learning through constructing representations in science: A framework of representational construction affordances. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 17, p. 2751-2773, 2012.

PRAIN, V.; WALDRIP, B. An exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary science. **International Journal of Science Education**, v. 28, n. 15, p. 1843-1866, 2006.

PRIETO, L. J. **Mensagens e sinais**. São Paulo: Editora Cultrix, 1973.

_____. **Messages et signaux**. Paris: PUF, 1966.

RADFORD, L.; BARDINI, C.; SABENA, C. Perceiving the general: the multisemiotic dimension of student's algebraic activity. **Journal for Research in Mathematics Education**, v. 38, n. 5, p. 507-530, 2007.

RADFORD, L. Why do gestures matter? Sensuous cognition and the palpability of mathematical meanings. In: **Journal Educational Studies in Mathematics**, v. 70, n. 2, p. 111-126, 2009.

RADFORD, L.; EDWARDS, L.; ARZARELLO, F. Introduction: beyond words. **Journal Educational Studies in Mathematics**, v. 70, n. 2, p. 91-95, 2009.

RECTOR, M.; TRINTA, A. R. **Comunicação do corpo**. São Paulo: Editora Ática, 1990.

ROTH, W. M. Gestures: their role in teaching and learning. **Review of Educational Research**, v. 71, n. 3, p. 365-392, 2001.

ROTH, W. M.; LAWLESS, D. Scientific investigations, metaphorical gestures, and the emergence of abstract scientific concepts. **Learning and instruction**, v. 12, n. 3, p. 285-304, 2002.

ROTH, W. M.; WELZEL, M. From activity to gestures and scientific languages. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n.1, p.103-136, 2001.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1994.

SALVADEGO, W. N. C. **Interpretação das gesticulações dos estudantes no laboratório de química baseada na semiótica de Peirce**. 2015. 167p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

SANTAELLA, L. **A teoria geral dos signos: semiose e autogeração**. São Paulo: Ática, 1995.

_____. **O que é semiótica**. São Paulo: Brasiliense (Coleção Primeiros Passos; 103), 2012a.

_____. **Percepção: fenomenologia, ecologia, semiótica**. São Paulo: Cengage Learning, 2012b.

_____. **Semiótica aplicada**. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

SANTAELHA, L.; NÖTH, W. **Comunicação & semiótica**. São Paulo: Hacker Editores, 2004.

SAUSSURE, F. D. **Curso de Linguística Geral**. 27.ed. São Paulo: Cultrix, 2006.

SANTOS, R. S. **Estudo da influência das affordances para aprendizagem de ressonância em meios materiais por meio dos padrões de Chladni**. 2018. 134p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Humanas, Sociais e de Natureza) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

SCOTT, P. H.; MORTIMER, E. F.; AGUIAR, O. G. The tension between authoritative and dialogic discourse: a fundamental characteristics of meaning making interactions in high science lessons, **Science Education**, v. 90, n. 7, p. 605-631, 2006.

SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E. Instrumentação em Educação Científica e o convite ao erro: uma leitura a partir do referencial de affordances. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 404-413, 2017.

TURPEN, C.; DANCY, M.; HENDERSON, C. Perceived affordances and constraints regarding instructors' use of Peer Instruction: Implications for promoting instructional change. **Physical Review Physics Education Research**, v. 12, n. 1, p. 010116, 2016.

TYTLER, R.; PRAIN, V.; PETERSON, S. Representational issues in students learning about evaporation. **Research in Science Education**, v. 37, n. 3, p. 313-331, 2007.

ULLMAN, S. Against direct perception. **The Behavioral and Brain Sciences**, v. 3, p. 373-415, 1980.

VERGENNES, D. S. **Tendências Norteadoras: uma leitura do conceito de affordance voltada ao Ensino de Física**. 2020. 158p. Dissertação. (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

VOLLI, U. **Manual de semiótica**, 2. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2012.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

WALDRIP, B.; PRAIN, V.; CAROLAN, J. Learning junior secondary science through multi-modal representations. **The Electronic Journal for Research in Science &**

Mathematics Education, 2006.

WALDRIP, B.; PRAIN, V.; CAROLAN, J. Using multi-modal representations to improve learning in junior secondary science. **Research in Science Education**, v. 40, n. 1, p. 65-80, 2010.

WEBB, M. E. Affordances of ICT in science learning: implications for an integrated pedagogy. **International journal of science education**, v. 27, n. 6, p. 705-735, 2005.

WU, H. K.; PUNTAMBEKAR, S. Pedagogical Affordances of Multiple External Representations in Scientific Processes. **Journal of Science Educational Technology**, v. 21, p. 754-767, 2012.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Tradução Ernani Rosa. 2. Ed. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZÔMPERO, A. F. **Significados de fotossíntese elaborados por alunos do ensino fundamental a partir de atividades investigativas mediadas por multimodos de representação**. 2012. 226 p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

“POTENCIALIDADE DAS MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES NA SUSTENTAÇÃO DISCURSIVA EM AULAS DE QUÍMICA”

Prezado(a) Senhor(a):

Gostaríamos de convidá-lo (a) para participar da pesquisa **“A POTENCIALIDADE DAS MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES NA SUSTENTAÇÃO DISCURSIVA EM AULAS DE QUÍMICA”**, a ser realizada em **“Universidade Estadual de Londrina”**. O objetivo da pesquisa é **“investigar o papel das diferentes representações químicas no engajamento interativo entre os estudantes”**. Sua participação é muito importante e ela se daria da seguinte forma: **a coleta de dados para a pesquisa consistirá na realização de diferentes atividades em grupos. Será feito a gravação de áudio e vídeo das ações dos estudantes durante as atividades a serem realizadas na sala de aula.**

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa (ou para esta e futuras pesquisas) e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade. **(Os registros de áudio e vídeo que serão coletados terão destino particular e exclusivo da pesquisadora para análise, de modo a manter o anonimato de cada estudante participante. Estes registros serão armazenados pela pesquisadora por um período de dois anos, para eventuais necessidades de análises desses dados. Após este período, a videogravação será deletada).**

Esclarecemos ainda, que você não pagará e nem será remunerado (a) por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação.

Os benefícios esperados são: tornar o momento instrucional significativo e diferenciado para o estudante. Quanto aos riscos, por esta pesquisa envolver a gravação de áudio e vídeo, existe a possibilidade do estudante não querer participar deste estudo. Assim sendo, ele não participará dessas aulas. A não participação do estudante não acarretará prejuízo algum para este.

Caso você tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos poderá nos contatar **(Ana Paula Hilário Gregório, Rua Joana Angelina dos Reis Ventura, nº46, telefone [(43) 99901 63 53] e e-mail anaph_ag@hotmail.com)**, ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, situado junto

ao LABESC – Laboratório Escola, no Campus Universitário, telefone 3371-5455, e-mail: cep268@uel.br.

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas devidamente preenchida, assinada e entregue à você.

Londrina, ____ de _____ de 2019.

Pesquisador Responsável

Ana Paula Hilário Gregório

RG:: 12.461.698-0

(_____),
tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar **voluntariamente** da pesquisa descrita acima.

Assinatura (ou impressão dactiloscópica): _____

Data: _____

APÊNDICE B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

“POTENCIALIDADE DAS MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES NA SUSTENTAÇÃO DISCURSIVA EM AULAS DE QUÍMICA”

Prezado(a) Senhor(a):

Gostaríamos de convidá-lo (a) para participar da pesquisa **“A POTENCIALIDADE DAS MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES NA SUSTENTAÇÃO DISCURSIVA EM AULAS DE QUÍMICA”**, a ser realizada em **“Colégio Estadual Alberto Santos Dumont”**. O objetivo da pesquisa é **“investigar o papel das diferentes representações químicas no engajamento interativo entre os estudantes”**. Sua participação é muito importante e ela se daria da seguinte forma: **a coleta de dados para a pesquisa consistirá na realização de diferentes atividades em grupos. Será feito a gravação de áudio e vídeo das ações dos estudantes durante atividades a serem realizadas na sala de aula.**

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusar-se a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa (ou para esta e futuras pesquisas) e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade. **(Os registros de áudio e vídeo que serão coletados terão destino particular e exclusivo da pesquisadora, para análise, de modo a manter o anonimato de cada estudante participante. Estes registros serão armazenados pela pesquisadora por um período de dois anos, para eventuais necessidades de análises desses dados).**

Esclarecemos ainda, que você não pagará e nem será remunerado (a) por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação.

Os benefícios esperados são: tornar o momento instrucional significativo e diferenciado para o estudante. Quanto aos riscos, por esta pesquisa envolver a gravação de áudio e vídeo, existe a possibilidade do estudante não querer participar deste estudo. Assim sendo, ele não participará dessas aulas. A não participação do estudante não acarretará prejuízo algum para este.

Caso você tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos poderá nos contatar **(Ana Paula Hilário Gregório, Rua Joana Angelina dos Reis Ventura, nº46, telefone [(43) 99901 63 53] e e-mail anaph_ag@hotmail.com)**, ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, situado junto

ao LABESC – Laboratório Escola, no Campus Universitário, telefone 3371-5455, e-mail: cep268@uel.br.

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas devidamente preenchida, assinada e entregue à você.

Apucarana, ____ de _____ de 2019.

Pesquisador Responsável

Ana Paula Hilário Gregório

RG:: 12.461.698-0

_____ (NOME POR EXTENSO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA), tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar **voluntariamente** da pesquisa descrita acima.

Assinatura (ou impressão dactiloscópica): _____

Data: _____

Obs.: Caso o participante da pesquisa seja menor de idade, o texto deve estar voltado para os pais e deve ser incluído ainda, campo para assinatura do menor e do responsável.

APÊNDICE C – Ficha da Atividade Experimental 1

Parte I – Efeito da Temperatura					
1. Escreva a reação do cobre com o ácido nítrico.					
2. O que aconteceu quando o frasco foi colocado no banho de gelo? O equilíbrio favorece os reagentes ou os produtos? Justifique sua resposta a partir dos resultados encontrados.					
3. O que aconteceu quando o frasco foi colocado no banho-maria? O equilíbrio favorece os reagentes ou os produtos? Justifique sua resposta a partir dos resultados encontrados.					
Parte II – Efeito da concentração: Equilíbrio da reação do FeCl₃ com (NH₄)SCN					
Tubo	Solução inicial	Coloração Inicial	Substância adicionada	Coloração final	Deslocamento favorece a formação de:
1					
2					
3					
4					
Questões					
1. Escreva a equação química envolvida na reação do FeCl ₃ com (NH ₄)SCN.					
2. Explique suas respostas, referentes à última coluna da Tabela 1, com base no princípio de Le Châtelier.					
3. O que aconteceu quando foi adicionado o íon comum amônio na solução? O equilíbrio favorece os reagentes ou os produtos? Justifique sua resposta a partir dos resultados encontrados.					

APÊNDICE D – Ficha da Atividade Experimental 2

Indicadores	Cor	Faixa de pH provável	pH (potenciômetro)
Solução de ácido acético 0,1 mol/L			
1. Azul de timol			
2. Alaranjado de metila			
3. Azul de bromofenol			
4. Verde de bromocresol			
Solução de ácido clorídrico 0,1 mol/L			
1. Azul de timol			
2. Alaranjado de metila			
3. Azul de bromofenol			
4. Verde de bromocresol			
Solução de hidróxido de amônio 0,1 mol/L			
1. Azul de timol			
2. Fenolftaleína			
3. Amarelo de alizarina			
Solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/L			
1. Azul de timol			
2. Fenolftaleína			
3. Amarelo de alizarina			
Solução de acetato de sódio 0,1 mol/L			
1. Azul de bromotimol			
2. Azul de timol			
3. Fenolftaleína			
4. Timolftaleína			
Solução de cloreto de amônio 0,1 mol/L			
1. Azul de bromofenol			
2. Verde de bromocresol			
3. Vermelho de metila			
4. Azul de bromotimol			

APÊNDICE E – Ficha da Atividade Experimental 3

Efeito do íon comum – Equilíbrio de ionização da amônia
Questões
1. Escreva a equação química envolvida na reação do equilíbrio de ionização da amônia.
2. Explique o que aconteceu após a adição do íon amônio na solução.

APÊNDICE F – Ficha da Atividade Experimental 4

Tubos	Reações	Observação
Reatividade do cobre		
1		
2		
3		
4		
Reatividade do zinco		
1		
2		
3		
4		
Reatividade do hidrogênio		
1		
2		
3		
4		

APÊNDICE G – Leitura de texto para a Atividade Experimental 5

Os testes de solubilidade devem ser efetuados para todas as substâncias desconhecidas. Eles são extremamente importantes para se determinar a **natureza do grupo funcional** do composto desconhecido. Os testes são muito simples e exigem somente pequenas quantidades das substâncias desconhecidas, que podem ser sólidas ou líquidas.

Frequentemente descrevemos o comportamento de solubilidade em termos de uma substância ser **solúvel** (dissolvida) ou **insolúvel** (não dissolvida) em um solvente. No entanto, quando se descreve a solubilidade de um soluto líquido em um solvente, às vezes é útil empregar os termos **miscível** (soluto e solvente formam uma única fase) e **imiscível** (soluto e solvente foram duas camadas ou fases).

Além disso, os testes de solubilidade revelam se o composto é uma base forte (amina), um ácido fraco (fenol), um ácido forte (ácido carboxílico) ou uma substância neutra (aldeído, cetona, álcool, éster).

Os solventes mais comuns para determinar a solubilidade são: HCl (5%), NaHCO₃ (5%), NaOH (5%), H₂SO₄ concentrado, água e solventes orgânicos.

Compostos com baixa massa molecular e também compostos com oxigênio, nitrogênio ou enxofre, geralmente são solúveis em água. A ramificação da cadeia alquila reflete em menor ponto de fusão e ponto de ebulição e em maior solubilidade em água. Essa solubilidade em água pode ser aumentada pela presença de um maior número de **grupos funcionais polares**.

A possibilidade de ser uma **amina** deve ser considerada imediatamente se um composto for solúvel em ácido clorídrico diluído (HCl – 5%). Os compostos que se dissolvem em bicarbonato de sódio (NaHCO₃ (5%) - base fraca), são ácidos fortes, ao passo que os que se dissolvem em hidróxido de sódio (NaOH (5%) – base forte), podem ser ácidos fortes ou fracos. Os **ácidos carboxílicos** geralmente são indicados quando um composto é solúvel em ambas as bases, e os **fenóis** são indicados quando um composto for solúvel somente em NaOH. Os compostos solúveis em ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), mas não em ácido diluído são bases extremamente fracas. Quase qualquer composto contendo um átomo de nitrogênio, oxigênio ou enxofre pode ser protonado em ácido sulfúrico concentrado. Já os compostos insolúveis em ácido sulfúrico concentrado ou qualquer um dos outros solventes são chamados inertes. Neste grupo, encaixam-se os **alcanos, aromáticos simples e haletos de alquila**.

Identifique o grupo funcional das amostras desconhecidas.

Amostras Desconhecidas	Função Orgânica
A	
B	
C	

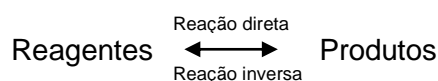
APÊNDICE H – Ficha da Atividade Experimental 7

Materiais	O material conduz corrente elétrica?	Justificativa
Água de torneira		
Água destilada		
Cloreto de sódio sólido		
Cloreto de sódio em solução aquosa		
Açúcar ou sacarose sólido		
Açúcar ou sacarose em solução aquosa		
Acetona pura		
Acetona em água destilada		
Álcool puro		
Álcool em água destilada		
Solução de ácido clorídrico		
Terra em água		
Batata		
Laranja		
Questões		
1. O que você pode concluir a respeito dos materiais no estado sólido, quanto à condução de eletricidade?		
2. Todos os materiais solúveis em água conduzem corrente elétrica?		
3. Identifique quais materiais são constituídos por espécies neutras e quais apresentam cargas elétricas em sua constituição.		
4. Explique o que é necessário para que a lâmpada acenda.		

APÊNDICE I – Aspectos gerais dos conteúdos abordados nas aulas

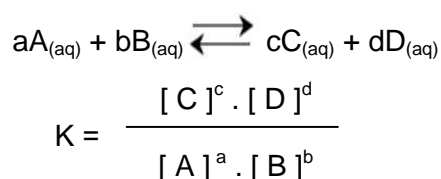
Caso 1: Segundo Brown, Lemay e Bursten (2005, p. 553), a formação de CoCl_4^{2-} a partir de $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ é um processo endotérmico. Como $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ é rosa e CoCl_4^{2-} é azul, a posição desse equilíbrio é rapidamente evidenciada a partir da cor da solução. A Figura 4, parte (a), mostra uma solução à temperatura ambiente de CoCl_2 em $\text{HCl}_{(\text{aq})}$. Tanto $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ quanto CoCl_4^{2-} estão presentes em quantidades significativas na solução; a cor violeta resulta da presença tanto de íons rosa quanto dos íons azuis. Quando a solução é aquecida, como mostrada na figura 4, parte (b), ela torna-se azul intensa, indicando que o equilíbrio foi deslocado para formar mais CoCl_4^{2-} . O resfriamento da solução, parte (c), leva a uma solução mais rósea, indicando que o equilíbrio foi deslocado para produzir mais $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Caso 2: No equilíbrio químico há coexistência dinâmica entre reagentes e produtos. Diz-se que trata de uma reação reversível em que, reagentes e produtos são consumidos ao mesmo tempo, ou seja, a reação ocorre nos dois sentidos, com velocidades iguais.



Na figura 6, mostramos as representações gráficas da concentração *versus* tempo e velocidade *versus* tempo. Na parte (A), ao atingir o equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e dos produtos permanecem constantes com o passar do tempo. Na parte (B), o equilíbrio é atingido no momento em que a velocidade da reação direta se iguala à velocidade da reação inversa e, por isso, não são observadas modificações macroscópicas no sistema.

As concentrações das substâncias em equilíbrio, numa determinada temperatura, guardam entre si uma relação definida que é expressa pela equação genérica da constante de equilíbrio químico, K.



Na figura 7, exibimos as representações gráficas desenhadas pela professora, de acordo com o valor da constante de equilíbrio. Quando $K=1$, as

outra forma, é a carga hipotética assinalada ao átomo usando um conjunto de regras (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Os processos reais envolvidos na transferência de elétrons são bastante complexos; todavia, podemos aprender muito mais examinando esses processos de maneira simplificada. Por exemplo, na reação redox espontânea entre $Zn_{(s)}$ e $Cu^{2+}_{(aq)}$, ilustrada na figura 14, $Zn_{(s)}$ é oxidado a $Zn^{2+}_{(aq)}$ e $Cu^{2+}_{(aq)}$ é reduzido a $Cu_{(s)}$. Por meio dela, visualizamos $Cu^{2+}_{(aq)}$ entrando em contato com a lâmina de $Zn_{(s)}$. Dois elétrons são transferidos diretamente de um átomo de Zn para o íon $Cu^{2+}_{(aq)}$, formando um íon Zn^{2+} e um átomo de Cu. O íon Zn^{2+} migra da solução enquanto o átomo de Cu permanece depositado na lâmina metálica. À medida que a reação prossegue, produzimos mais e mais $Cu_{(s)}$ e exaurimos $Cu^{2+}_{(aq)}$.

Caso 5 – Dado (2): No estudo de Eletroquímica, a energia livre de Gibbs (ΔG) é calculada usando a equação ($\Delta G = -nFE$) em que n representa o número de elétrons transferidos em uma reação química, F é a constante de Faraday e E, a força eletromotriz da reação. Se ΔG é negativo a reação é espontânea no sentido direto, quando ΔG é positivo, a reação no sentido direto é não espontânea e o processo inverso, espontâneo, e, ΔG igual a zero significa que o sistema está em equilíbrio (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

ΔG é a parte da variação da energia de um processo espontâneo que está livre para realizar trabalho útil. Logo, a variação na energia livre é igual ao trabalho máximo útil ($w_{m\acute{a}x} = \Delta G$) que pode ser realizado pelo sistema em sua vizinhança em um processo espontâneo ocorrendo à temperatura e pressão constante. Para processos não espontâneos ($\Delta G > 0$), a variação da energia livre é uma medida da quantidade mínima de trabalho que deve ser realizada para fazer com que o processo ocorra (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). “Uma reação para a qual ΔG é grande e negativo, como a queima da gasolina, é muito mais capaz de realizar trabalho na vizinhança que uma reação para a qual ΔG é pequeno e negativo, como a fusão do gelo à temperatura ambiente (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005, p. 703)”. Portanto, a grandeza ΔG nos diz se uma mistura de reagentes e produtos, cada um deles presente sob condições-padrão, reagiria espontaneamente no sentido direto para produzir mais produtos ($\Delta G < 0$) ou no sentido inverso para formar mais reagentes ($\Delta G > 0$) (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Caso 5 – Dado (3): A acidez e basicidade das soluções aquosas dependem da quantidade de íons H_3O^+ e OH^- presentes na solução. O cálculo do potencial hidrogeniônico, pH, é realizado de acordo com a equação ($pH = -\log [H_3O^+]$) e do potencial hidroxônio, assim ($pOH = -\log [OH^-]$). Quando as concentrações dos íons H_3O^+ e OH^- se diferem, a solução é

ácida ou básica, dependendo do íon presente em maior concentração. Soluções ácidas possuem maior concentração de íons H_3O^+ e pH menor do que 7. Soluções básicas apresentam maior concentração de íons OH^- e pH maior do que 7. Soluções neutras tem pH igual a 7.

Os resultados dos cálculos realizados pelos estudantes indicam que a concentração de íons H_3O^+ , provenientes do ácido acético (CH_3COOH), é menor que a concentração de íons H_3O^+ ionizados na solução de ácido clorídrico (HCl), um ácido forte. Os ácidos e bases fortes são eletrólitos fortes, existindo em solução aquosa inteiramente como íons. Portanto, as reações de ionização dos ácidos fortes estão completamente ionizadas na solução. A maioria das substâncias ácidas é ácido fraco e, conseqüentemente, ioniza-se apenas parcialmente em soluções aquosas. Nesse caso, usa-se a constante de equilíbrio de acidez para expressar a extensão na qual um ácido fraco ioniza-se. A ordem de grandeza de K_a indica tendência de o ácido ionizar em água (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

De forma detalhada, em meio aquoso, as moléculas de H_2O podem interagir tanto com ácidos quanto com bases. Ácidos doam um próton para a molécula de H_2O , aumentando, assim, a concentração de íon hidrônio (H_3O^+), enquanto que bases recebem um próton da água e favorecem a formação do íon hidróxido (OH^-). Reações de dissociação ácidas e básicas em meio aquoso promovem o aumento da concentração dos íons hidrônio (H_3O^+) e hidróxido (OH^-), respectivamente. Assim, quanto maior for o valor da constante de dissociação, maior também será a quantidade de produto formado. Pode-se então definir a força de um ácido ou de uma base por meio da magnitude de suas constantes de dissociação ácida ou básica, respectivamente. Por exemplo, quanto maior o valor de K_a , mais forte o ácido. Valores de $K_a > 1$ correspondem a ácidos fortes, $K_a < 1$ a ácidos fracos (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Caso 6: Em uma titulação ácido-base, uma solução contendo concentração desconhecida de base é lentamente adicionada a um ácido (ou o ácido é adicionado à base). Os indicadores ácido-base podem ser usados para sinalizar o ponto de equivalência de uma titulação, o ponto no qual a quantidade estequiometricamente equivalente de ácido e base foram conciliadas. A forma da curva de titulação torna possível determinar o ponto de equivalência na titulação. A curva de titulação pode também ser usada para selecionar indicadores apropriados (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). A curva de titulação produzida quando uma base forte é adicionada a um ácido forte tem o formato geral, mostrado na figura 19. A curva descreve a variação de pH que ocorre à proporção que 0,1 mol/L de NaOH é adiocinado à 50,0 mL de 0,1 mol/L de HCl. O pH pode ser calculado em vários estágios da titulação.

1. pH inicial: o pH da solução antes da adição de qualquer base é determinado pelo ácido forte. Para uma solução de 0,1 mol/L de HCl, $[H^+] = 0,1 \text{ mol/L}$ e, com isso, o $pH = -\log(0,1) = 1,0$. Assim, o pH inicial é baixo.
2. Entre o pH inicial e o ponto de equivalência: à medida que NaOH é adicionado, o pH aumenta primeiro lentamente, depois, rapidamente, nas proximidades do ponto de equivalência. O pH da solução antes do ponto de equivalência é determinada pela concentração do ácido que ainda não foi neutralizado.
3. Ponto de equivalência: no ponto de equivalência uma quantidade de matéria igual de NaOH e HCl reage, deixando apenas uma solução de seu sal, NaCl. O pH da solução é 7,0 porque o cátion de uma base forte (nesse caso Na^+) e o ânion de um ácido forte (nesse caso Cl^-) não hidrolisam e não têm efeito apreciável no pH.
4. Depois do ponto de equivalência: o pH da solução após o ponto de equivalência é determinado pela concentração do excesso de NaOH na solução (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Numa situação ideal, um indicador variaria de cor no ponto de equivalência em uma titulação. Entretanto, isso é desnecessário. O pH varia muito rapidamente próximo ao ponto de equivalência; nessa região simplesmente uma gota de titulante pode variar o pH em várias unidades. Portanto, um indicador que começa e termina sua variação de cor em algum ponto nessa parte de rápido aumento da curva de titulação fornecerá medida suficientemente exata do volume de titulante necessário para atingir o ponto de equivalência (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). Na figura 19, vemos que o pH varia muito rapidamente de 4 até cerca de 10, próximo ao ponto de equivalência. Consequentemente, um indicador para essas titulações ácido-base forte pode mudar de cor em qualquer lugar nessa faixa. Muitas titulações ácido-base forte são realizadas usando fenolftaleína como indicador porque ela varia drasticamente de cor nessa faixa. A fenolftaleína varia de cor de $pH = 8,3$ a $10,0$. Vários outros indicadores seriam satisfatórios, inclusive o vermelho de metila, que muda de cor de $pH = 4,2$ a $6,0$.

Caso 7: Com base na figura 3, após a determinação da solubilidade do composto orgânico em água, se os aprendizes verificassem a solubilização do soluto, o pH da solução aquosa deveria ser estimado com papel de tornassol, para revelar se a substância desconhecida era uma base forte (amina), um ácido forte (ácido carboxílico) ou um composto neutro (aldeído, cetona, álcool, éster). Se o composto fosse imiscível em água, os estudantes precisariam recomeçar o procedimento para testar a solubilidade com o hidróxido de sódio, $NaOH_{(aq)}$. Caso ocorresse a solubilização, o teste deveria ser realizado com o solvente bicarbonato de

sódio, $\text{NaHCO}_{3(\text{aq})}$. Se mais uma vez o soluto permanecesse solúvel com a adição de $\text{NaHCO}_{3(\text{aq})}$, certamente era porque tal amostra se referia a um ácido carboxílico ou a algum composto fenólico, classificado como ácido forte, nesse caso. Contudo, se o composto fosse insolúvel com a adição de $\text{NaHCO}_{3(\text{aq})}$ a 5%, possivelmente o composto era pertencente à função dos fenóis.

Em outras palavras, os compostos que se dissolvem em $\text{NaHCO}_{3(\text{aq})}$, base fraca, são ácidos fortes, ao passo que os que se dissolvem em $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$, base forte, são ácidos fortes ou fracos. Isto é, os ácidos carboxílicos, geralmente, são indicados quando o composto é solúvel em ambas as bases, e os fenóis são indicados quando o composto é solúvel somente em $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$. Precisamente dessa forma, o procedimento deveria ser prosseguido sucessivamente. Acrescenta-se, ainda, com vistas a clarificar a interpretação da forma representacional diagramática exibida na figura 3, que a possibilidade de ser uma amina deve ser considerada imediatamente se um composto for solúvel em ácido clorídrico diluído ($\text{HCl}_{(\text{aq})}$ – 5%). Os compostos solúveis em ácido sulfúrico ($\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ – 5%) são neutros e os insolúveis em $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ ou em qualquer um dos outros solventes são chamados inertes.

Como expomos no quadro a seguir, o ácido carboxílico é identificado por ser um composto miscível em água e mudar a coloração do papel de tornassol para vermelho. O acetato de etila pertence à função éster, logo, é insolúvel em $\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$, $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ e $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ e solúvel apenas no solvente $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$. A naftalina, por tratar-se de um composto aromático, é insolúvel em todos os solventes utilizados.

Quadro – Identificação das amostras pelo teste de solubilidade

Testes	Amostra A Ácido acético	Amostra B Acetato de etila	Amostra C Naftalina
Teste I: (amostra + água)	Solúvel	Insolúvel	Insolúvel
Teste II: (pH)	Papel de tornassol vermelho	-----	-----
Teste III: (amostra + NaOH)	-----	Insolúvel	Insolúvel
Teste IV: (amostra + HCl)	-----	Insolúvel	Insolúvel
Teste V: (amostra + H_2SO_4)	-----	Solúvel	Insolúvel
Possíveis grupos funcionais	Ácido Carboxílico	Compostos Neutros	Compostos inertes

Fonte: Autores (2021)

Caso 9: Pode-se determinar se uma solução conduz ou não eletricidade usando-se um dispositivo como mostrado na figura 27. Para acender a lâmpada, a corrente elétrica deve fluir entre os dois eletrodos imersos na solução. Apesar de a água por si só não ser um bom condutor de eletricidade, a presença de íons faz com que as soluções aquosas sejam bons condutores (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). Os íons transportam carga elétrica de um

eletrodo para outro, fechando o circuito. Portanto, a condutividade das soluções de NaCl indica a presença de íons na solução, e a falta de condutividade da sacarose, a ausência de íons. Quando NaCl se dissolve em água, a solução contém íons Na^+ e Cl^- , cada um rodeado por moléculas de água. Quando a sacarose se dissolve em água, a solução contém apenas moléculas neutras de sacarose rodeadas por moléculas de água (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).

Uma substância (como NaCl) cujas soluções aquosas contêm íons é chamada eletrólito. Uma substância (como $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) que não forma íons em solução é chamada não eletrólito. A diferença entre NaCl e $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ deve-se em grande parte ao fato de o NaCl ser iônico, enquanto $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ é molecular. O NaCl constitui-se de um arranjo ordenado de íons Na^+ e Cl^- . Quando NaCl se dissolve em água, cada íon se separa da estrutura cristalina e se dispersa por toda a solução. O sólido iônico dissocia-se em seus íons constituintes à medida que se dissolve. Quando um composto molecular se dissolve em água, a solução normalmente compõe-se de moléculas intactas dispersas pela solução. Consequentemente, a maioria dos compostos moleculares são não eletrólitos. Por exemplo, a solução de metanol (CH_3OH) em água inteira de moléculas CH_3OH dispersas por toda a água. Entretanto, existem algumas substâncias moleculares cujas soluções aquosas contêm íons. A mais importante destas são os ácidos. Por exemplo, quando $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ ioniza-se em íons $\text{H}^+_{(\text{aq})}$ e $\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$ (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005).