

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

**“LEVANTAMENTO DE MODELOS MENTAIS PARA
VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO
CONCEITO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO EM LICENCIANDOS
EM QUÍMICA”**

Paola Gimenez Mateus*

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRA EM QUÍMICA, área de concentração: QUÍMICA.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Ferreira

*** bolsista: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES/Proex)**

**São Carlos - SP
2019**

Mateus, Paola Gimenez

LEVANTAMENTO DE MODELOS MENTAIS PARA VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO CONCEITO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO EM LICENCIANDOS EM QUÍMICA / Paola Gimenez Mateus. -- 2019.

183 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador: Luiz Henrique Ferreira

Banca examinadora: Luiz Henrique Ferreira, Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani, Rosebelly Nunes Marques

Bibliografia

1. Aprendizagem Significativa. 2. Equilíbrio Químico. 3. Modelos Mentais. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Romildo Santos Prado – CRB/8 7325



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Química

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Paola Gimenez Mateus, realizada em 23/08/2019:

Prof. Dr. Luiz Henrique Ferreira
UFSCar

Profa. Dra. Silvia Regina Quijadas Aro Zuliani
UNESP

Profa. Dra. Rosebelly Nunes Marques
USP

“O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra isso e ensine-o de acordo”. (AUSUBEL et al., 1980, p. 237).

Agradecimentos

A Deus, acima de tudo e todos, pela força e pela fé em todos os dias e momentos, por sempre me abençoar e ter me acompanhado nessa jornada, guiando e iluminando cada passado.

Aos meus pais Antônio e Silvia, pelo carinho, pela educação, pelo incentivo e por me confortarem em momentos difíceis.

Ao Felipe meu amigo e namorado pela força, palavras de motivação, por ter sido compreensivo, atencioso, me ajudando e apoiando em todos os momentos.

A Andreia e ao Paulo pela ajuda, apoio e incentivo desde o início dessa jornada.

Ao professor Luiz pela confiança que depositou em mim para realização desse trabalho, pela atenção, dedicação e paciência em cada etapa, e das inúmeras conversas e orientações, que muito colaborou para minha formação como profissional, mas também como pessoa.

As instituições envolvidas diretamente nessa pesquisa, pela possibilidade de realizá-la, assim como aos alunos participantes.

A banca, tanto do seminário quanto da defesa, pois através das observações, comentários, sugestões e críticas construtivas acabaram apresentando contribuições importantes para a pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Lista de Quadros

QUADRO 1. 1 - Principais concepções problemáticas graduandos relacionadas ao conceito de equilíbrio químico, segundo a literatura. Fonte: AUTORA.....	3
QUADRO - 3. 1 Condição dos discentes participantes da pesquisa com relação as disciplinas cursadas. Fonte: AUTORA.	47
QUADRO 4. 1 - Categorização dos modelos mentais para o conceito de equilíbrio químico construído pelos discentes investigados. Fonte: AUTORA.....	58
QUADRO 4. 2 - Síntese das características dos modelos mentais categorizados como mecânico, com base nos elementos norteadores de análise. Fonte: AUTORA.	93
QUADRO 4. 3 - Síntese das características dos modelos mentais categorizados como parcialmente significativo, com base nos elementos norteadores de análise. Fonte: AUTORA.....	106
QUADRO 4. 4 - Síntese das características dos modelos mentais categorizados como significativo próximo ao conceitual, com base nos elementos norteadores de análise. Fonte: AUTORA.	117
QUADRO 5. 1 - Categorização das respostas dos discentes relacionadas ao efeito da temperatura durante o questionário. Fonte: AUTORA.....	121
QUADRO 5. 2 - Reposta dos discentes relacionadas ao efeito da temperatura durante a entrevista. Fonte: AUTORA.	125
QUADRO 5. 3 - Respostas dos discentes frente a variação da concentração no questionário. Fonte: AUTORA.	138
QUADRO 5. 4 - Síntese da análise dos elementos de alta e baixa complexidade para cada discente e em cada instrumento. Fonte: AUTORA.	150

Lista de figuras

FIGURA 2. 1 - Contínuo entre aprendizagem significativa e mecânica. Fonte: Autora.	13
FIGURA 2. 2 - Processo de assimilação e assimilação obliteradora. Fonte: Adaptado de MOREIRA e MASINI, 2001.....	15
FIGURA 2. 3 - Dinâmica de interação, equilibração e acomodação de imagens para formação do modelo mental. Fonte: Adaptado de SOUZA (2013).	34
FIGURA 2. 4 - Formação de modelos mentais e níveis representacionais. Fonte: GIBIN (2013).	41
FIGURA 3.1 - Etapas envolvidas na coleta de dados a partir do segundo instrumento (stop motion).....	52
FIGURA 3. 2 - Semi-reações de formação e decomposição do gás ozônio apresentadas e discutidas com os discentes no minicurso, antes da elaboração das animações.	53
FIGURA 4. 1 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna da discente A1.	60
FIGURA 4. 2 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna da discente A3.	64
FIGURA 4. 3 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna do discente A6.	67
FIGURA 4. 4 - Continuação da sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna do discente A6.	68
FIGURA 4. 5 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna da discente A7.	70
FIGURA 4. 6 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna do discente A9.	75
FIGURA 4. 7 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna do discente A14.	85
FIGURA 4. 8 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação noturna do discente A14.	86
FIGURA 4. 9 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna e noturna de A2.....	95

FIGURA 4. 10 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna de A4.	98
FIGURA 4. 11 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação noturna de A4.	100
FIGURA 4. 12 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna de A5.	107
FIGURA 4. 13. Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna de A12.	113
FIGURA 5. 1 - Representações interpretativas das figuras apresentadas na questão de número 5 da entrevista elaboradas por A6(a), A10(b) e A13 (c).	126
FIGURA 5. 2 - Representações interpretativas das figuras apresentadas na questão de número 5 da entrevista elaborada por A1.	130
FIGURA 5. 3 - Representações interpretativas das figuras apresentadas na questão de número 5 da entrevista elaboradas por A2.	131
FIGURA 5. 4 - Representações interpretativas das figuras apresentadas na questão de número 5 da entrevista elaboradas por A4 (as bolinhas marcadas em amarelo correspondem ao NO ₂).	131

RESUMO

LEVANTAMENTO DE MODELOS MENTAIS PARA VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO CONCEITO DE EQUILÍBRIO QUÍMICO EM LICENCIANDOS EM QUÍMICA. O conceito de equilíbrio corresponde a um dos tópicos mais complexos e difíceis para o ensino e compreensão na Química. Apesar de diferentes pesquisas adotarem a temática como objeto de investigação e das importantes contribuições já relatadas na literatura, os problemas de aprendizagem desse conceito ainda parecem ser frequentes, justificando a importância do desenvolvimento dessa pesquisa que teve como objetivo contribuir para a compreensão dos fatores envolvidos no processo de aprendizagem do conceito. Utilizou-se como referenciais teóricos as teorias da aprendizagem significativa e dos modelos mentais. Para isso, foram investigados e analisados os modelos mentais construídos por 14 licenciandos de uma universidade pública do interior do Estado de São Paulo, com a finalidade de buscar indícios da aprendizagem com maior caráter significativo e próxima ao modelo conceitual, permitindo ao aprendiz atribuir significado ao conceito e assim explicá-lo, representá-lo e utilizá-lo em diferentes situações e nos diferentes níveis representacionais da Química. Assim, procurou-se verificar se o conhecimento é expresso por meio de suas próprias manifestações, sem perder seu significado científico, ou se a aprendizagem tem se concretizado predominantemente de forma mecânica, através da memorização de leis e princípios, de maneira desconectada sem a atribuição de grandes significados, limitando os discentes a reproduzirem frases e enunciados sem a devida compreensão, bem como quais os possíveis fatores que resultaram nessas aprendizagens. Foram planejados e construídos três instrumentos de coleta de dados: um questionário, um *stop motion* e um roteiro de entrevista semi-estruturada. Os dados foram analisados com base em elementos norteadores previamente definidos e categorizados, sendo eles: elementos de baixa complexidade (conceitos químicos aplicáveis a quaisquer transformações químicas) e elementos de alta complexidade (exclusivos da temática). De acordo com nossos dados, a construção de um modelo mental para o conceito resultante na aprendizagem com maior caráter significativo parece envolver a necessidade da superação de visões simplistas derivadas de experiências sensoriais cotidianas, puramente relacionadas ao nível concreto e da presença de modelos mentais relativos ao conceito subsunçor de reação química consideravelmente desenvolvidos e adequados, inclusive no nível submicroscópico. Isto é, para superação dos problemas associados ao processo de aprendizagem do conceito, se faz necessário o conhecimento daquilo que o aluno já sabe, suas concepções iniciais e de seus conceitos subsunçores, parecendo ser estes fatores limitantes para construção de um modelo para o conceito de equilíbrio químico capaz de permitir a compreensão significativa deste estado como sendo dinâmico, reversível e simultâneo.

ABSTRACT

RESURGENCE OF MENTAL MODELS FOR VERIFICATION OF MEANINGFUL LEARNING OF THE CONCEPT OF CHEMICAL EQUILIBRIUM OF STUDENTS OF LICENTIATE DEGREE COURSE. The concept of equilibrium corresponds to one of the most complex and difficult topics of teaching and understanding in Chemistry. Although different researches has adopted the theme as an object of research and the important contributions already reported in the literature, the learning problems of this concept still seem to be frequent, justifying the importance of the development of this research whose objective was to contribute to the understanding of the factors involved in the learning process of the concept, using as theoretical references the theories of meaningful learning and mental models. For this purpose, the mental models constructed by 14 undergraduate of a public university of the state of Sao Paulo were investigated and analyzed, with the purpose of searching for evidence of learning with a significant character and close to the conceptual model, allowing the learner to assign meaning to the concept and thus explain it, represent it and use it in different situations and at different levels of representational chemistry. Thus, it was sought to verify if knowledge is expressed through its own manifestations, without losing its scientific meaning, or if learning has become predominantly mechanical, through the memorization of its laws and principles, in a disconnected way without the attribution of many meanings, limiting the students to reproduce phrases and statements without the proper understanding, as well as the possible factors that resulted in these learning. Three instruments of data collection were planned and constructed: a questionnaire, a stop motion and a semi-structured interview script. The data were analyzed based on previously defined and categorized guiding elements, being: elements of low complexity (chemical concepts applicable to any chemical transformations) and elements of high complexity (exclusive of the theme). According to our data, the construction of a mental model that resulting in learning of the concept with a significant predominant character seems to involve the need to overcome simplistic visions derived from sensory experiences, purely related to the concrete level and the presence of mental models of the concept chemical reaction considerably developed and adequate, including at the submicroscopic level. That is, to overcome the problems associated with the concept learning process, it is necessary to know what the student already knows, his initial conceptions and his subsumer, which seem to be limiting factors for the construction of a model for the concept of chemical equilibrium capable of allowing the meaningful understanding of this state as dynamic, reversible and simultaneous.

Sumário

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 – Conceito de equilíbrio químico: uma introdução contextualiza do problema.	1
Capítulo 2 - Referencial teórico	7
2.1 - Aprendizagem significativa.....	7
2.1.2 - Formas e tipos de aprendizagem significativa.....	9
2.1.3 - Aprendizagem significativa, aprendizagem mecânica e o esquecimento.....	11
2.1.4 - Condições para aprendizagem significativa	16
2.1.5 Avaliação da aprendizagem significativa	19
2.2 - Representações mentais.....	20
2.2.1 - Modelo mental.....	24
2.2.2 - Modelos e o processo de ensino e aprendizagem	26
2.2.3 - Modelos mentais e conceitos químicos.....	29
2.3 - Modelos mentais e aprendizagem significativa	32
Capítulo 3 – Questão de pesquisa e metodologia	43
3.1 – Questão de pesquisa e objetivo	43
3.2 - Contexto da pesquisa.....	44
3.2.1 - Cuidados éticos.....	46
3.2.2 - Perfil dos discentes participantes	46
3.3 - Elaboração dos instrumentos de coleta de dados.....	49
3.3.1 - Procedimento de coleta dos dados	51
3.4 - Tratamento e análise dos dados	55
Capítulo 4 – Resultados e discussões: modelos mentais para o conceito de equilíbrio químico.....	57
4.1 - Categorização dos modelos mentais dos estudantes	57
4.2 - Modelo mecânico	58
4.3 - Modelo parcialmente significativo.....	93
Capítulo 5 - Algumas considerações sobre o favorecimento reacional	119

5.1 - Variação da temperatura	121
5.2 - Variação da concentração.....	135
5.3 - Considerações e relações sobre as argumentações dos discentes.....	144
5.4 - Síntese da análise dos elementos de baixa e alta complexidade para cada discente observada em cada instrumento	147
5.5 - Algumas considerações sobre a abordagem do conceito na visão dos licenciandos.....	152
Capítulo 6 - Considerações finais.....	157
Capítulo 7 - Referências.....	163
Apêndices.....	168
Apêndice 1 – Termo TCLE	168
Apêndice 2 - Questionário	171
Apêndice 3 – Roteiro da entrevista semi-estruturada.....	177
Apêndice 4 – Sequência didática resumida do mini-curso	180
Apêndice 5 – Kit <i>stop motion</i>	183

Capítulo 1 – Introdução

Nesse capítulo será apresentado um panorama geral da literatura referente ao processo de ensino e aprendizagem do conceito de equilíbrio químico com a finalidade de contextualizar e evidenciar a importância do desenvolvimento desse trabalho.

1.1 – Conceito de equilíbrio químico: uma introdução contextualizada do problema.

O conceito de equilíbrio químico apresenta uma riqueza conceitual elevada devido a articular diferentes conceitos químicos, como os de reações, estequiometria, reversibilidade reacional e noções cinética (HUDDLE e PILLAY, 1996), de maneira que seu entendimento permite a compreensão dos aspectos envolvidos nos processos químicos e também de seu controle, através da manipulação de algumas variáveis (temperatura, concentração e pressão), sendo de fundamental importância tanto do ponto de vista acadêmico quanto industrial (MACHADO e ARAGÃO, 1996; BROIETTI et al. 2013, SANTOS, et al. 2016).

A própria contextualização histórica envolvida no desenvolvimento da Teoria de Equilíbrio Químico já revela a importância da compreensão e domínio do conceito para o desenvolvimento científico e também da sociedade, além de possibilitar a realização de outras discussões de cunho social e ético, como a utilização dos compostos nitrogenados para produção de fertilizantes e explosivos.

A importância do conceito também está na possibilidade de explicação e entendimento de diferentes fenômenos observáveis no cotidiano, como por exemplo a formação de estalagmites e estalactites, o funcionamento das lentes fotocromáticas e do “galinho do tempo”, utilizado antigamente pelas pessoas como meio de “previsão” do tempo.

Somado a isso, o entendimento do conceito permite a compreensão e tomada de consciência sobre problemas ambientais graves que estão em constante debate na mídia e nos meios de comunicação, como as consequências das emissões antropogênicas de gás dióxido de carbono (CO_2) que acabam afetando o equilíbrio natural de formação dos esqueletos dos corais e também da perturbação ao equilíbrio químico de formação e decomposição do gás ozônio da estratosfera, que forma a denominada “camada de ozônio”, devido às emissões de gases poluentes.

Sendo assim, a relevância do conceito de equilíbrio químico se dá não apenas com relação ao seu potencial industrial, que é de extrema importância no

sentido de maximizar a obtenção de substâncias e/ou matérias primas através da manipulação consciente do princípio de Le Chatelier, mas também no sentido de formação de um indivíduo crítico e consciente, capaz de participar ativamente de debates e discussões importantes para a sociedade e de repensar suas atitudes e das pessoas em sua volta.

No entanto, apesar dessa importância, diferentes pesquisas têm revelado que o conceito de equilíbrio químico corresponde a um dos tópicos mais complexos e difíceis de compreensão (JOHNSTONE et al. 1977; HACKING e GARNETT, 1985; MACHADO e ARAGÃO, 1996; RAVIOLO e AZANAR, 2003; CAROBIN e SERRANO, 2007; GOMES E RECENA, 2008; JÚNIOR E SILVA, 2009; GOMES et al., 2010; SANTOS e MELO, 2012; BROIETTI et al. 2013, SANTOS et al., 2016, SILVA, 2016). De acordo com essas pesquisas, isso ocorre porque este conteúdo, dentre outros fatores: a) faz articulação com outros conceitos conforme já mencionado; b) exige um grau de abstração elevado; c) tem seu ensino focado em aspectos quantitativos e; d) os discentes o associam a concepções alternativas de equilíbrio atreladas ao senso comum.

Dentre as concepções alternativas relatadas na literatura envolvendo a aprendizagem do conceito de equilíbrio químico, tanto em alunos do Ensino Médio quanto do Ensino Superior, apresentamos no Quadro 1.1, de maneira resumida, as principais concepções já levantadas para estudantes de graduação em Química, em grande maioria licenciandos, bem como alguns trabalhos nos quais elas foram observadas e discutidas.

Concepção de equilíbrio químico	Autores
Estático	RAVIOLO e AZNAR (2003); GOMES e RECENA, (2008); JÚNIOR e SILVA, (2009); SANTOS e MELO, (2012); SILVA (2016).
Igualdade dos “dois” lados (concentração)	GOMES e RECENA, (2008); JÚNIOR e SILVA, (2009); SANTOS e MELO, (2012); SANTOS et al. (2016); SILVA (2016).
Dificuldade em se diferenciar o que é igual do que é constante	CAROBIN e SERRANO (2007); SANTOS et al. (2016); SILVA (2016).
Reações não simultâneas	CAROBIN e SERRANO (2007); GOMES e RECENA, (2008); SANTOS et al. (2016); SILVA (2016).
Confusões entre coeficientes estequiométricos e	RAVIOLO e AZNAR (2003); CAROBIN e SERRANO (2007); JÚNIOR e SILVA, (2009); SILVA (2016).

quantidades das espécies	
Compartimentalização	RAVIOLO e AZNAR (2003); CAROBIN e SERRANO (2007); GOMES e RECENA, (2008); JÚNIOR e SILVA, (2009); SILVA (2016).
Aplicação automática/ Indiscriminada do princípio de Le Chatelier	CAROBIN e SERRANO (2007); JÚNIOR e SILVA, (2009); SILVA (2016).

QUADRO 1. 1 - Principais concepções problemáticas graduandos relacionadas ao conceito de equilíbrio químico, segundo a literatura. Fonte: AUTORA.

A associação de equilíbrio químico a um estado estático, no qual não há mais alterações nos sistemas, induzem o aluno a considerar que nesse estado não ocorrem mais transformações químicas devido a reação ter atingido determinada estabilidade. Segundo MACHADO e ARAGÃO (1996), essa concepção parece ser consequência de experiências não abstratas dos estudantes advindas do seu cotidiano (como se equilibrar em cordas) e, também do estudo de equilíbrio físico estático na disciplina de física.

A concepção de igualdade entre os “dois lados” da reação, principalmente em termos de concentração de reagentes e produtos, também parece ser consequência das concepções de natureza macroscópica e sensorial trazidas pelos alunos de suas experiências cotidianas concretas, como a concepção de balança.

Alguns discentes também apresentam a concepção de sistema reversível, mas não simultâneo. Uma possível explicação para isso novamente parece estar relacionada às experiências sensoriais e cotidianas dos discentes, como a associação de equilíbrio a balança ou gangorra, no qual ambos lados “sobem ou descem”, mas não simultaneamente.

A consideração de equilíbrio como sistema compartimentalizado parece ter origem, segundo JOHNSTONE et al. (1997) a maneira pela qual o conteúdo é comumente abordado em sala de aula e é apresentado em materiais didáticos, como por exemplo através do uso comum da expressão “deslocar o equilíbrio para a direita (ou esquerda)” e seus derivados, que podem reforçar essa ideia de reagentes e produtos separados.

Somado a isso, MACHADO e ARAGÃO (1996) também creditam o problema ao uso das equações químicas, com a dupla seta separando os produtos e reagentes, sem a devida explicação, por parte do professor, do que está sendo representado simbolicamente, não relacionando com o sistema no nível atômico-

molecular, afim de diferenciar a representação do fenômeno químico. Essa dificuldade dos discentes em diferenciar os fenômenos de suas representações, somado a problemas de origem conceitual, também pode explicar as confusões envolvendo os coeficientes estequiométricos e a quantidade das espécies presentes no meio reacional.

MACHADO e ARAGÃO (1996) alertam sobre os problemas derivados dessa visão compartimentalizada do estado de equilíbrio químico. Segundo as autoras, tal concepção pode induzir os estudantes a pensar que:

É possível alterar a concentração só dos reagentes ou só dos produtos; as colisões têm lugar apenas entre os reagentes ou entre os produtos; é possível alterar a pressão ou temperatura em apenas um dos 'lados' do equilíbrio. (MACHADO e ARAGÃO, 1996, p.19).

Com relação a aplicação indiscriminada e/ou automática do princípio de Le Chatelier, alguns autores (QUÍLEZ-PARDO, 1997; JÚNIOR e SILVA, 2009; BROIETTI et al., 2013) atribuem a tal problema a abordagem predominantemente automática e infalível que muitas vezes é dada ao fenômeno em sala de aula, sem as devidas explicações cinéticas e termodinâmicas envolvidas nas alterações que ocorrem no sistema, reforçando a memorização do conceito.

Com base nessas discussões, é possível observar que diferentes pesquisas tiveram como objetivo investigar as concepções de licenciandos sobre o conceito de equilíbrio químico, a maioria com a finalidade de discutir as concepções alternativas desses discentes sobre a ideia de equilíbrio químico e possíveis causas dessas concepções. Os resultados desses trabalhos revelam a importante influência do conhecimento prévio (CA) dos estudantes no processo de aprendizagem, pois muitos parecem trazer consigo a ideia geral de equilíbrio construída a partir de suas experiências.

Sendo assim, o conhecimento prévio do aluno parece ser um fator limitador a aprendizagem do significado científico atribuído ao conceito, que precisa ser estudado e considerado. Somado a isso, apesar dessas importantes contribuições já relatadas sobre a temática, essas mesmas concepções divergentes das científicas parecem ainda ser frequentes (SANTOS et al., 2013; SANTOS, et al., 2015; TOLEDO e FERREIRA, 2016), justificando a necessidade e a importância do desenvolvimento

de pesquisas sobre o processo de aprendizagem do conceito que possam contribuir para o entendimento de tais problemas e suas possíveis causas, para que assim estes possam ser minimizados ou então evitados.

É com base nessa perspectiva que essa pesquisa foi desenvolvida, pois nosso objetivo é, investigar e analisar dos modelos mentais que licenciandos em Química estão construindo sobre o conceito de equilíbrio químico. Utilizou-se como referencial teórico a teoria da aprendizagem significativa proposta por AUSUBEL et al. (1980) e a importante contribuição da teoria dos modelos mentais proposta por JOHNSON-LAIRD (1983), afim de contribuir para a compreensão dos inúmeros problemas associados ao processo de aprendizagem desse conceito.

Esclarecemos que os referencias principais encontram-se nos trabalhos de AUSUBEL et al. (1980) e JOHNSON-LAIRD (1983). No entanto, as importantes interpretações e contribuições de outros autores, como MOREIRA (1996, 1997, 2001, 2011), PALMERO (2008) e SOUZA (2013), também foram utilizadas no desenvolvimento desse trabalho, bem como a literatura vigente específica sobre o processo de ensino e aprendizagem do conceito de equilíbrio químico, em especial do cenário brasileiro.

Capítulo 2 - Referencial teórico

Nesse capítulo serão apresentados e discutidos os principais aspectos da teoria da aprendizagem significativa e dos modelos mentais que diretamente influenciaram na realização dessa pesquisa e na análise dos dados. Na sequência, é apresentada uma relação entre ambas as teorias com a finalidade de justificar nossa escolha em adotá-las.

2.1 - Aprendizagem significativa

Existem, basicamente, três tipos diferentes e gerais de aprendizagem: cognitiva, psicomotora e afetiva. A aprendizagem cognitiva é aquela resultante do armazenamento organizado de informações na mente do aprendiz em um complexo organizado denominado estrutura cognitiva (PELIZARRI et al. 2002; PALMERO, 2008b, MOREIRA, 2011).

Podemos entender como estrutura cognitiva o conteúdo que contempla todas as ideias, bem como suas organizações, de um sujeito em uma área particular de conhecimento. Trata-se de uma organização hierarquizada na qual ocorre a interação e organização de conceitos e ideias pelo indivíduo (MOREIRA, 2011).

A aprendizagem afetiva é resultante de sinais internos dos indivíduos, como ansiedade, prazer e satisfação. Por fim, a psicomotora envolve as respostas musculares adquiridas por meio de treino e prática. É importante ressaltar que tanto a aprendizagem afetiva quanto a psicomotora são geralmente acompanhadas de experiências cognitivas, sendo, portanto, concomitantes a esta (MOREIRA, 2011).

AUSUBEL et al. (1980) apesar de reconhecerem a importância de experiências afetivas, enfatizam primordialmente a aprendizagem cognitiva (MOREIRA e MASINI, 2001), na qual há uma integração e organização não literal e não arbitrária do material a ser aprendido na estrutura cognitiva do sujeito, através da ancoragem, metaforicamente falando, desse novo material a algum adequado já presente nessa estrutura cognitiva do indivíduo.

Porém, a aprendizagem significativa não se restringe apenas a ancoragem de novos conhecimentos, mas também abrange as modificações nos atributos da estrutura cognitiva pela influência desse novo material.

O armazenamento de informações na mente do aprendiz, na visão dos autores, ocorre de maneira organizada e hierárquica (hierarquia conceitual), onde elementos específicos e menos inclusivos são ligados e assimilados aos conceitos e

proposições mais gerais e inclusivos, resultando naquela estrutura cognitiva hierárquica. Sendo assim, essa hierarquia está relacionada ao fato de que conhecimentos mais gerais incorporam os mais específicos.

Logo, de acordo com AUSUBEL et al. (1980), a aprendizagem significativa é o resultado de um processo de interação substantiva e não arbitrária entre novas ideias e aquilo que o aprendiz já sabe. Ao considerar que essa interação deve ser substantiva (não-litera) e não arbitrária, significa que ela não ocorre palavra por palavra, e que também essa interação não ocorre com qualquer ideia pré-existente na estrutura cognitiva do sujeito, mas sim com alguma especificamente relevante (TAVARES, 2008; MOREIRA, 2012).

Esse conhecimento prévio é denominado de subsunçor (ou conceito subsunçor) ou ideia-âncora, justificando a metáfora da ancoragem. Logo, o subsunçor pode ser compreendido como um conhecimento devidamente relevante e adequado, nesse sentido pode ser uma proposição, um modelo mental, etc., que já está presente na estrutura cognitiva do aprendiz e que atua como um ponto de ancoragem para as novas informações, e assim, através desse processo interacional, permite ao sujeito atribuir significado a essas novas informações, a esses novos conhecimentos que foram descobertos ou apresentados ao sujeito, através do processo da assimilação.

Logo, a assimilação é dinâmica e nesse processo não apenas aos novos conhecimentos são atribuídos significados, mas o subsunçor passa por modificações e também acaba adquirindo novos significados ou maior estabilidade cognitiva. A medida que novas aprendizagens significativas se processam como consequência dessa interação, o subsunçor vai se tornando mais estável, rico em significados e diferenciado, por isso atua como facilitador de novas aprendizagens significativas devido a cada vez mais ser capaz de atuar como ponto de ancoragem para novos conhecimentos.

Ainda de acordo com AUSUBEL et al. (1980), ao aprender de forma significativa, dois processos dinâmicos e importantes da estrutura cognitiva ocorrem simultaneamente no decorrer desse processo: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

A diferenciação progressiva já foi discutida anteriormente - se trata daquela atribuição de novos significados a um dado subsunçor em decorrência de sua utilização sucessiva na atribuição de significados aos novos materiais de aprendizagem. A reconciliação integradora, consiste na integração de significados,

eliminação de diferenças aparentes e resolução de inconsistências, ou seja, consiste na realização de uma superordenação na estrutura cognitiva do sujeito ao assimilar novos conhecimentos.

Ambos os processos são importantes e ocorrem simultaneamente na estrutura cognitiva do aprendiz e assim deve ser, pois conforme pontua MOREIRA (2012) se por acaso ocorresse apenas a diferenciação progressiva, tudo o que fosse assimilado pelo sujeito acabaria não apresentando semelhanças, não teria relações e assim seria tudo percebido de forma diferente. Por outro lado, se apenas ocorresse o processo de reconciliação integradora, tudo pareceria igual, sem distinções.

Portanto, ambos os processos são importantes e necessários a construção cognitiva e aprendizagem. No entanto, apesar de serem simultâneos, eles parecem ocorrer com diferentes intensidades a depender da forma em que ocorre a aprendizagem significativa, foco de discussão da próxima seção.

2.1.2 - Formas e tipos de aprendizagem significativa

Em sua teoria, AUSUBEL et al. (1980) propõem que a aprendizagem significativa pode ocorrer de três formas, através da subordinação, superordenação e uma terceira forma que é a combinatória.

A aprendizagem subordinada ocorre quando os novos conhecimentos potencialmente significativos ao serem incorporados na estrutura cognitiva do sujeito são ancorados e interagem com conhecimentos prévios relevantes mais gerais e inclusivos que eles. Esse tipo de aprendizagem corresponde a mais comum.

Já na aprendizagem superordenada, que corresponde a forma mais incomum de aprender significativamente, os novos conhecimentos assimilados são mais gerais e inclusivos que aqueles pré-existentes na estrutura cognitiva do aprendiz e, ao serem incorporados passam a subordinar esses subsunçores.

Conforme discutido na seção anterior, a diferenciação progressiva e reconciliação integradora, que correspondem a dois processos importantes que ocorrem na estrutura cognitiva do aprendiz quando este aprende significativamente, ocorrem simultaneamente, mas com diferentes intensidades.

A reconciliação integradora está mais relacionada com a aprendizagem superordenada (aquela que ocorre com menor frequência) devido o novo material passar a incorporar aqueles prévios. Já a diferenciação progressiva está mais relacionada com a aprendizagem significativa subordinada (mais comum), onde o

novo conhecimento é incorporado por um subsunçor mais geral, que progressivamente se torna mais relevante, claro e facilitador de novas aprendizagens, conforme já discutido.

A terceira forma de aprendizagem significativa corresponde a combinatória, na qual a atribuição de significados a um novo conhecimento implica na interação não apenas com um subsunçor específico, mas sim diversos conhecimentos pré-existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, como o que MOREIRA (2012) chama de “base subsunçora”, que o sujeito já possui em determinada área de conhecimento.

Esses conhecimentos novos a serem assimilados não são nem mais específicos e nem inclusivos que os subsunçores, eles apresentam alguns significados em comum. No entanto não os superordena e nem os subordina (MOREIRA, 2012). Como exemplo, é possível citar o entendimento do significado implícito em fórmulas e/ou equações químicas, que exige um conhecimento amplo em Química e não apenas os que estão nelas envolvidos.

Com relação aos tipos de aprendizagem significativa, AUSUBEL et al. (1980) também propõem que existam três: a representacional, conceitual e proposicional. A representacional corresponde a mais elementar, porém, mais fundamental, pois os outros dois tipos são dependentes desta.

Na aprendizagem representacional, o símbolo significa apenas o referente que representa, ou seja, se trata de uma representação em significado de determinados eventos ou objetos através de símbolos arbitrários em uma relação única. A aprendizagem conceitual ocorre quando o aprendiz constrói os conceitos e, o símbolo agora representa uma infinidade de objetos que apresentam propriedades e características comuns, visto que, conforme pontua MOREIRA (2012), os conceitos indicam certas regularidades em objetos ou eventos.

No entanto, até o sujeito chegar a aprendizagem conceitual, provavelmente ele deve ter passado pela representação desse conceito, porém, uma vez construído, o conceito passa a ser representado por um símbolo (normalmente linguístico), não dependendo mais de um referente concreto do evento ou objeto para atribuir significado a esse símbolo.

A construção dos primeiros subsunçores ocorre mediante o processo de formação de conceitos, conforme pontua MOREIRA (2012, p. 10) “através da

inferência, abstração, discriminação, descobrimento, representação, envolvidos em sucessivos encontros do sujeito com instancias de objetos, eventos, conceitos”.

Além da construção de conceitos, e dos primeiros subsunçores, o aprendiz em fase pré-escolar também começa a formar modelos e demais construtos mentais de estados de coisas do mundo, e como mencionado, inicialmente ele depende de aspectos concretos, da experiência concreta, e também da mediação de um adulto.

No entanto, progressivamente ele começa a aprender cada vez mais a partir dos subsunçores já construídos e então, a mediação pessoal, que inclui normalmente os professores, segundo MOREIRA (2012, p. 10) “passa a ser uma negociação de significados aceitos e não aceitos no contexto de um determinado corpo de conhecimentos”. Esse processo de negociação de significados corresponde a assimilação descrita no início desse capítulo, e é essa aprendizagem que predomina na fase adulta.

Por fim, a aprendizagem proposicional corresponde a atribuição de significados a novas ideias expressas a partir de proposições. Portanto, as aprendizagens representacional e conceitual são pré-requisitos para a proposicional, mas algo importante de se ressaltar é que o significado de uma proposição não corresponde simplesmente a somatória dos significados dos conceitos e palavras nela envolvida, e sim da interação, relação e compreensão destes, pois a compreensão de uma proposição ou até mesmo um conceito requer que o aprendiz possua significados claros, diferenciados, transferíveis e precisos. Tanto a aprendizagem conceitual quando proposicional podem ocorrer por subordinação ou superordenação com relação aos conhecimentos prévios já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA e MASINI, 2001).

Com base no que foi discutido, a estrutura cognitiva na teoria ausubeliana corresponde então a um conjunto hierarquicamente organizado de subsunçores, em diferentes graus de estabilidade, clareza, utilização e desenvolvimento. Essa organização hierárquica não é fixa, é dinâmica, estando em constante transformação e evolução em decorrência dos processos de diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

2.1.3 - Aprendizagem significativa, aprendizagem mecânica e o esquecimento

Até o momento foi exposto e discutido sobre a aprendizagem significativa, porém, nas escolas e também em cursos de graduação, a aprendizagem mais incentivada e mais comum é a aprendizagem mecânica, caracterizada pela simples memorização de fatos/fórmulas e repetição de exercícios e procedimentos (AUSUBEL et al., 1980). Infelizmente, pesquisas mostram que esse tipo de ensino e aprendizagem é muito comum no que se refere aos conteúdos de química, e que, dentre outros fatores, acaba resultando no desinteresse e desmotivação de alunos pelo estudo da disciplina (PAZ, PACHECO, 2010).

AUSUBEL et al. (1980) propõem que quando a aprendizagem significativa não se concretiza é a mecânica que ocorre. De acordo com os autores, a maneira pela qual a aprendizagem se concretizará (significativa ou mecânica) irá depender da maneira pela qual a nova informação se relaciona e é armazenada na estrutura cognitiva do indivíduo. Quando o novo conceito, as novas ideias, se relacionam de forma organizada, não arbitrária e não literal com as ideias já existentes e específicas na estrutura cognitiva do aprendiz temos a predominância da aprendizagem significativa (Figura 2.1a). Porém, quando esse relacionamento e organização ocorre de maneira arbitrária (sem ligação/relação com subsunçores específicos) na estrutura cognitiva do aprendiz, a aprendizagem é predominantemente mecânica (Figura 2.1b).

Conforme brevemente mencionado, infelizmente a aprendizagem mecânica é aquela que mais ocorre e é incentivada em sala de aula, isso ocorre principalmente pelo uso de avaliações com maiores características behavioristas do que construtivistas, pois correspondem a avaliações no tipo “sim ou não” e “sabe ou não sabe” (MOREIRA, 2012).

Essas avaliações não envolvem e não exigem a compreensão, a transferência dos conhecimentos e nem o significado deste. Na realidade, esse tipo de avaliação que estimula a aprendizagem mecânica é o que faz muitos professores terem a falsa sensação de que seus alunos de fato aprenderam e compreenderam o conteúdo, e dessa maneira avancem nas disciplinas, pois corresponde ao famoso “decoreba”, que após ser “utilizado” na realização de avaliações, é rapidamente esquecido, isso quando não ocorrem os “brancos” durante a realização dessas provas (MOREIRA, 2012).

Isso é consequência do próprio processo envolvido na aprendizagem mecânica, quando ela se efetiva, o produto final é conhecimento memorizado de um

determinado conceito ao qual praticamente não foram atribuídos significados (ou então muito pouco). Assim é, pois não houve uma incorporação cognitiva resultante da assimilação desse novo conhecimento com o prévio devido a não existência de subsunçores desenvolvidos e adequados na estrutura cognitiva do aprendiz. Sendo assim, não houve aquela interação, diferenciação progressiva e reconciliação integradora que permite a atribuição de significados.

Entretanto, cabe ressaltar que AUSUBEL et al. (1980) não fazem distinção e/ou oposição, entre a aprendizagem significativa e mecânica. Na verdade, como é possível observar na Figura 2.1, elas fazem parte de um contínuo, sendo assim, ora aprendemos de maneira significativa, como resultado construímos um conhecimento predominantemente significativo (Figura 2.1a) e ora mecânica, e assim construímos um conhecimento predominantemente mecânico (Figura 2.1b)

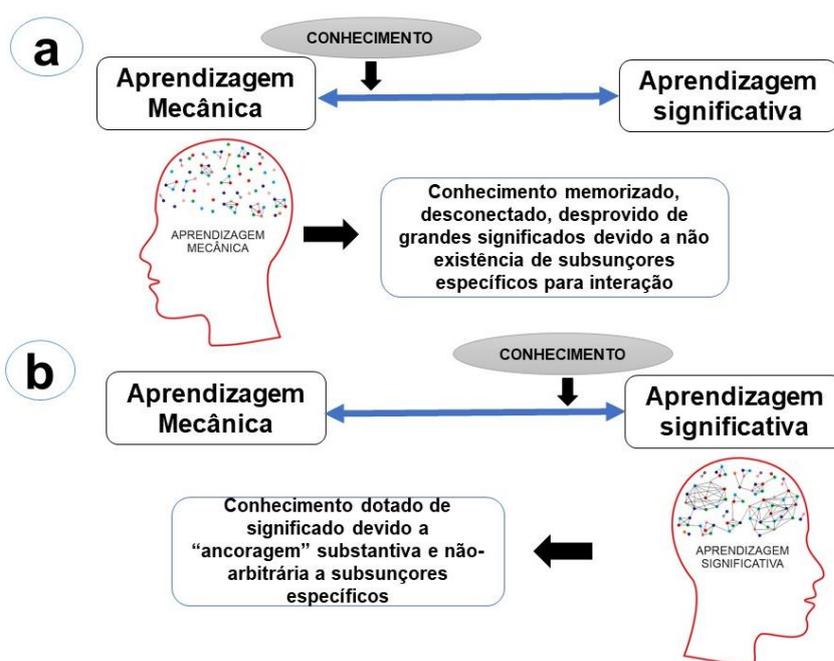


FIGURA 2. 1 - Contínuo entre aprendizagem significativa e mecânica. Fonte: Autora.

De acordo com a Figura 2.1, até é possível haver uma transformação de uma aprendizagem que inicialmente ocorreu predominantemente de forma mecânica para significativa. No entanto não se trata de um processo natural e sim dependente de determinadas condições, como a existência de subsunçores adequados, pré-disposição do aluno e materiais potencialmente significativos, conforme melhor será discutido na próxima seção.

Logo, o que se espera é que no início do estudo em uma nova área de conhecimento, como por exemplo a Química, a aprendizagem predominantemente seja mecânica, até que subsunçores devidamente claros e adequados comecem a ser construídos e assim possibilitem a aprendizagem significativa de novos conceitos relacionados a essa disciplina, e até mesmo daqueles já construídos, através dos processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora já discutidos. No entanto, tais condições necessárias muitas vezes não são satisfeitas na escola, fazendo com que a aprendizagem do tipo mecânica predomine nesse ambiente (MOREIRA e MASINI, 2001).

Dois pontos importantes a serem esclarecidos sobre a aprendizagem significativa é que ela não é sinônimo de aprendizagem correta, do ponto de vista de conhecimentos aceitos em determinada área, e também não é definitiva, no sentido de que o aprendiz nunca irá esquecer.

Conforme já discutido, a aprendizagem significativa é aquela resultante do processo de assimilação entre os prévios e novos conhecimentos, isso independentemente se esses conhecimentos prévios coincidem com aquele que se espera em determinado contexto educacional, bem como se as atribuições de significados a esses novos materiais assim também o são.

Portanto, a aprendizagem significativa não é sinônimo de aprendizagem “correta”, como exemplo, tem-se as concepções alternativas comumente observadas e estudadas no Ensino de Ciências e de Química. Tais concepções geralmente são aprendizagens significativas e, por isso são resistentes a mudanças conceituais (MOREIRA, 2012) e por isso não devem ser encaradas como conhecimentos isolados.

Com relação ao esquecimento, AUSUBEL et al. (1980) explicam que o processo de esquecimento é uma consequência natural da aprendizagem significativa, e ocorre através de um processo que os autores denominam de assimilação obliteradora, isto é, perda progressiva da dissociabilidade dos novos conhecimentos em relação aos conhecimentos que lhe deram significados. A Figura 2.2 representa esse processo.



FIGURA 2. 2 - Processo de assimilação e assimilação obliteradora. Fonte: Adaptado de MOREIRA e MASINI, 2001.

De acordo com a Figura 2.2, o novo conhecimento potencialmente significativo “a” interage com o subsunçor especificamente relevante “A” gerando nesse processo o produto “a’A’”, isto é, o subsunçor modificado, havendo também a atribuição de significado a esse novo conhecimento. Imediatamente após se processar a assimilação, inicia-se o processo de assimilação obliteradora (esquecimento), onde o produto interacional na fase de retenção se dissocia nas espécies “a’+A’”, é nessa etapa que a retenção de a’ é favorecida (MOREIRA e MASINI, 2001).

No entanto, progressivamente essas entidades se tornam menos dissociáveis de seus subsunçores até que não estejam mais disponíveis individualmente (MOREIRA e MASINI, 2001), e assim perdem a dissociabilidade e aquele produto interacional foi reduzido a “A’”, isto é, ao subsunçor modificado, mais estável, claro e enriquecido. O que ocorreu então foi um esquecimento residual de “a”, pois ele agora está obliterado em “A’”.

Portanto, diferentemente da aprendizagem mecânica na qual o esquecimento é rápido e praticamente total, AUSUBEL et al. (1980) ressaltam que na aprendizagem significativa ele é residual, isto é, está incorporado ao subsunçor, existindo assim um “resíduo” dele. Como consequência, uma vez que determinado conteúdo precisa ser “reaprendido”, isso ocorrerá com maior facilidade e em menor tempo.

Ocorre é que, quando não utilizamos um conhecimento por muito tempo, o subsunçor não passa espontaneamente pelos processos diferenciação progressiva e interação reconciliadora, isto é, mesmo que esses processos tenham ocorrido e que esse subsunçor esteja bem elaborado e desenvolvido, dotado de significados estáveis e claros, ao longo do tempo ele sofre o processo de obliteração e sua clareza diminui se não usados com frequência.

Assim, há subsunçores que são mais estáveis e desenvolvidos, e também há aqueles mais frágeis e instáveis, em fase de desenvolvimento, conforme explica MOREIRA:

A clareza, a estabilidade cognitiva, a abrangência, a diferenciação de um subsunçor variam ao longo do tempo, ou melhor, das aprendizagens significativas do sujeito. Trata-se de um conhecimento dinâmico, não estático, que pode evoluir e, inclusive, involuir. (MOREIRA, 2012, p.4).

Logo, as vantagens da aprendizagem significativa frente a mecânica são evidenciadas, em geral em dois momentos: no início no que diz respeito a compreensão, a atribuição de significado e a capacidade de transferir o conhecimento aprendido a situações novas e, a longo prazo devido a vantagem de maior retenção e na possibilidade de reaprendizagem em menor tempo do que a aprendizagem original.

Tais discussões também justificam a importância de o professor tentar criar um ambiente propício a aprendizagem significativa. Para isso, alguns fatores são necessários, conforme discutido a seguir.

2.1.4 - Condições para aprendizagem significativa

De acordo com AUSUBEL et al. (1980), basicamente são duas as condições necessárias para que a aprendizagem significativa ocorra: o material deve ser potencialmente significativo e o aprendiz deve apresentar uma pré-disposição para aprender significativamente.

Entende-se por material os livros, textos, aulas, problemas, aplicativos, filmes, etc. que podem ser utilizados pelo professor para trabalhar determinado(s) conceito(s). Se diz que ele deve ser “potencialmente significativo” pois nenhum material é por si só significativo, uma vez que os significados, numa abordagem construtivista na qual teoria se enquadra, estão nas pessoas e são por essas atribuídos.

Dizer que esse material deve ser potencialmente significativo implica que este deve apresentar um significado lógico para o estudante, ou seja, deve ser relacionável de maneira não literal e não arbitrária em sua estrutura cognitiva. Portanto, essa primeira condição depende fortemente do conhecimento prévio do discente, pois se não há subsunçores adequados, não faz sentido falar em materiais e novos conhecimentos potencialmente significativos.

Com relação a pré-disposição do aprendiz em aprender, isso não se trata em específico da afinidade do discente pela disciplina e/ou conteúdo, apesar das experiências afetivas serem importantes conforme discute NOVAK (1981)¹, mas sim dele estar disposto em relacionar de maneira interativa os novos conhecimentos a sua estrutura prévia, modificando, enriquecendo e atribuindo significado a esses conhecimentos.

O aprendiz deve compreender a importância desse novo material (material deve ser relevante) e assim querer aprender significativamente, mas para isso, precisa ter em sua estrutura cognitiva subsunçores relevantes com os quais o novo conceito, o novo material possa se relacionar e, assim, garantir a assimilação não arbitrária e não literal desse novo conhecimento (MOREIRA e MASINI, 2001; MOREIRA, 2012).

Por isso, essa segunda condição também está relacionada com o conhecimento prévio do aluno. MOREIRA (2012, p.18) argumenta que “normalmente quanto mais o indivíduo domina significativamente um campo de conhecimentos mais se predispõe a novas aprendizagens nesse campo ou em campos afins”. O autor ainda pontua que no caso da aprendizagem mecânica o inverso também é verdadeiro, quanto mais o estudante memorizar conteúdos de maneira mecânica, menos predisposto estará frente a esses conteúdos e disciplinas, o que justifica o desinteresse e desmotivação comumente observada em estudantes com relação aos conteúdos químicos.

Essa segunda condição também implicitamente sugere que caso a intenção do aprendiz seja apenas memorizar determinado conhecimento, para realização de uma avaliação por exemplo, não importa o quão potencialmente significativo seja o material, tanto o processo quando o produto será mecânico. O

¹ NOVAK, J. D (1981) atribuiu novos significados a aprendizagem significativa, estendendo seu âmbito de aplicação em uma teoria humanista. Segundo o autor, qualquer evento educativo envolve a troca de significados, mas também de sentimentos entre o professor e o aprendiz (MOREIRA, 1997).

inverso também é válido, mesmo que o aluno esteja disposto a aprender significativamente, isto é, caso o material não seja potencialmente significativo, a aprendizagem mecânica se concretizará (MOREIRA e MASINI, 2001).

Portanto, ambas condições necessárias para ocorrência da aprendizagem significativa estão de alguma maneira relacionadas com a estrutura cognitiva do aprendiz, ou seja, seus subsunçores, seus conhecimentos prévios, sendo, portanto, o fator primordial para a ocorrência desse processo, afetando diretamente a aprendizagem do aluno, justificando e atribuindo o devido significado e importância as palavras ditas por AUSUBEL et al.:

Se quiséssemos reduzir a psicologia educacional em um único princípio este seria: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra isso e ensine-o de acordo. (AUSUBEL et al., 1980, p.137).

Nesse momento, é importante e necessário esclarecermos que o fato de o conhecimento prévio dos alunos ser considerado extremamente influenciador e determinante na ocorrência da aprendizagem, não significa dizer que tal conhecimento é sempre um facilitador, pelo contrário, alguns subsunçores podem funcionar como obstáculos epistemológicos na visão de BACHELARD (1996)².

A título de exemplo, na Química, a concepção de átomo como sendo um sistema planetário em miniatura atua como um obstáculo representacional para aprendizagem da estrutura atômica na perspectiva da Mecânica Quântica (MOREIRA, 2012) e, com relação ao equilíbrio químico, concepções de equilíbrio estático atrelado ao senso comum, parecem atuar como obstáculos a aprendizagem da dinamicidade do conceito.

Por isso, AUSUBEL et al. (1980) ao proporem que o conhecimento prévio, isto é, a estrutura cognitiva do aprendiz é o fator isolado que mais influência na aprendizagem significativa, não quiseram dizer que tal conhecimento sempre atuará como um facilitador, na maioria das vezes assim o faz, porém, ele também pode atuar como dificultadores. Isso, no entanto não descarta ou diminui a importância dessa variável, pelo contrário, o professor tendo conhecimento de tais obstáculos,

² Obstáculos epistemológicos, segundo BACHELARD (1996), são estagnações que impedem o progresso do pensamento científico.

poderá planejar atividades com a finalidade de superá-los, visando a aprendizagem significativa.

Devido a aprendizagem significativa depender de subsunçores, e a construção destes levar tempo para ocorrer, pois exige que o significado seja captado, internalizado, diferenciado e reconciliado, ela não é imediata. Além disso, o processo de aprendizagem envolve uma negociação dos significados entre docentes e discentes (MOREIRA, 2012), por isso, as concepções de que uma “boa explicação” realizada numa boa aula, na qual haviam alunos “aplicados” são suficientes para promover a aprendizagem significativa é ilusória, pois como já discutido, os fatores envolvidos são o material potencialmente significativo e a pré-disposição em aprender.

2.1.5 Avaliação da aprendizagem significativa

Em decorrência do armazenamento não literal (incorporação substantiva) e não arbitrário dos novos conhecimentos, com atribuição de significado a estes através da interação com subsunçores (assimilação), a aprendizagem significativa possui características que permitem sua verificação.

Quando a aprendizagem de um determinado conceito científico ocorre significativamente e de forma coerente com aquele aceito cientificamente, o aprendiz consegue explicar, através de suas manifestações, seja através de palavras, desenhos/imagens, modelos ou animações, etc. tal conceito, sem perder seu significado científico (PALMERO, 2008b; MOREIRA, 2012).

Os conhecimentos aprendidos, por apresentarem maior flexibilidade de aplicação (não serem incorporados ao “pé-da-letra” e de qualquer maneira) permitem ao aluno enfrentar e resolver novas situações problema que dependem da aplicação dos assuntos relacionados a tais conhecimentos (MOREIRA, 2012). Logo, a verificação da ocorrência da aprendizagem significativa não pode se resumir na aplicação e correção de avaliações behavioristas, comumente empregadas hoje no contexto escolar, que se resumem em questões do tipo “sim ou não”, “certo ou errado” e resolução de cálculos mecânicos (MOREIRA, 2012).

No contexto dessa pesquisa, significa dizer que se a intenção do professor for buscar indícios da ocorrência da aprendizagem significativa do conceito de equilíbrio químico, não basta apenas propor aos alunos questões que envolvam cálculos memorizados dos valores da constante de equilíbrio, das concentrações das espécies, ou simplesmente dizer para qual lado o equilíbrio será deslocado caso

alguma variável (pressão, temperatura ou concentração) for alterada. É necessário que o discente explique e justifique suas respostas, proponha esquemas, desenhos e modelos para externalizar suas concepções.

Assim, a verificação da aprendizagem deve ser baseada em atividades que possibilitem ao aprendiz externalizar a sua compreensão sobre o conteúdo em questão, que permitam testar sua abrangência na resolução de atividades e/ou problemas e que exijam dele transferência desse conhecimento aprendido a situações diferenciadas daquelas comumente apresentadas em sala de aula (como a simples realização de cálculos e predição do sentido reacional) e assim, avaliar sua flexibilidade de aplicação (MOREIRA e MASINI, 2001).

Portanto, a avaliação da aprendizagem significativa envolve outro foco, que é o da compreensão, capacidade de transferência, captação e atribuição de significados. Porém, concordamos com MOREIRA (2012), quando o autor discute que apresentar ao aluno uma situação não familiar, muito diferente e que exija a máxima transformação do conhecimento adquirido apenas no momento de uma “avaliação final” talvez não seja a melhor saída, pois provavelmente esse discente não está acostumado a enfrentar novas situações. Na realidade, tais atividades deveriam serem propostas ao longo do processo instrucional e então cobradas nas avaliações.

No entanto, isso não implica que não possam ser propostas atividades avaliativas um tanto quanto diferenciadas, no nosso caso um conjunto delas, para realizar tal verificação, ainda mais se tal processo for realizado levando-se em consideração os modelos mentais expressos pelos discentes, assim como proposto nessa pesquisa.

Assim sendo, sugerimos que o levantamento e a interpretação dos modelos mentais que os discentes construíram, no curso de graduação sobre um conteúdo, em específico o de equilíbrio químico, parece ser um instrumento em potencial para averiguação da aprendizagem, pois como será discutido nas próximas seções, conforme explica JOHNSON-LAIRD (1983), é através de modelos mentais que as pessoas raciocinam e, nesse sentido, aprender e compreender um determinado conceito químico implica na construção de um modelo mental para este conceito.

2.2 - Representações mentais

De acordo com a abordagem da Ciência Cognitiva, o sujeito não capta diretamente o mundo externo por meio de estímulos, ele processa e elabora as informações recebidas desse exterior, construindo representações internas desse mundo no qual interage. De acordo com JOHNSON-LAIRD:

“[...] os seres humanos, claro, não apreendem o mundo diretamente; eles têm apenas uma representação interna dele porque a percepção é a construção de um modelo do mundo. Eles são incapazes de comparar essa representação perceptiva diretamente com o mundo.” (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 156, tradução nossa).

As representações mentais, portanto, atuam como uma “ponte” entre a mente do sujeito e o mundo com o qual interage e, nessa perspectiva, a mente humana é melhor compreendida como um sistema de processamento de informações, cujo funcionamento é melhor traduzido em termos de representações mentais e de procedimentos computacionais que operam sobre estas representações (MOREIRA, 1996).

Partindo dessas considerações, fica clara a importância do papel da representação na perspectiva cognitivista, podendo ser compreendida, de acordo com MOREIRA et al. (2002, p. 38), como “qualquer notação, signo ou conjunto de símbolos que representa alguma coisa que é tipicamente algum aspecto do mundo exterior ou de nosso mundo interior (ou seja, nossa imaginação”. No entanto, conforme pontua JOHNSON-LAIRD (1983, p.402) “uma representação pode ser uma representação de uma coisa real, mas não é a coisa real em si”.

As representações podem ser externas, na qual se encaixam coisas do mundo físico como por exemplo os mapas, descrições escritas e diagramas (MOREIRA, 1996), ou podem ser internas (mentais). A Psicologia Cognitiva e a teoria dos modelos mentais proposta por JOHNSON-LAIRD (1983), adotada como um dos referenciais teóricos nesse trabalho, se preocupa com estas últimas, pois conforme discutido, é através de tais representações que os indivíduos concebem o mundo externo e, o interesse dessa ciência e do autor está no estudo dos mecanismos que a mente utiliza para interpretar e enfrentar o mundo, ou seja, os processos psicológicos superiores (percepção, memória, pensamento, linguagem, aprendizagem, etc.) (PALMERO, 2008a).

Logo, as representações mentais (internas) são formas de reconstrução em nossas mentes do mundo externo, enquanto que as representações externas

correspondem a maneira de externalizar nossas concepções internas (MOREIRA, 1996).

De acordo com JOHNSON-LAIRD (1983), existem pelo menos três tipos principais de representações mentais: as proposições, os modelos mentais e as imagens, em sua visão:

[...] as representações proposicionais são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e as imagens são visualizações de modelos sob um determinado ponto de vista. (JOHNSON-LAIRD, 1983, p.165).

Para o autor as proposições são representações internas abstratas de significados expressáveis verbalmente, sendo constituídas por frases ou palavras, no entanto contemplam cadeias de símbolos em uma linguagem própria da mente, denominado de “*mentals*” por MOREIRA (1996, 2011). Elas são geralmente indeterminadas e assim, descrevem vários possíveis estados de coisas. Já os modelos mentais são representações analógicas um tanto abstratas de conceitos, eventos ou objetos, no sentido de representar entidades específicas desses conceitos, eventos ou objetos, ou seja, do mundo exterior.

Os modelos e as proposições apresentam, portanto, características opostas, o primeiro é determinado, analógico e concreto (um tanto abstraído) enquanto que as proposições são indeterminadas, arbitrárias e totalmente abstratas (JOHNSON-LAIRD, 1983; PALMERO, 2008a; MOREIRA, 2011).

Já as imagens são compreendidas como representações bastante específicas que retêm muito dos aspectos perceptivos de determinados objetos, eventos ou conceitos vistos de um ângulo particular, ou seja, correspondem a vistas dos modelos de uma certa perspectiva do observador. Por isso, assim como os modelos mentais, elas são determinadas, analógicas e concretas, sendo consideradas por JOHNSON-LAIRD como um tipo de representação mental devido apresentarem importância na construção do modelo mental.

No entanto, conforme pontua MOREIRA (1996) é importante ter clara a distinção entre o conceito de modelo mental e imagem, apesar das imagens serem analógicas e assim representarem a estrutura da situação, pelo fato de refletirem ou representarem aspectos perceptíveis do ponto de vista do observador e não todos os aspectos, apresentam subjetividade.

Além disso as únicas operações possíveis nas imagens são rearranjos visuais ou espaciais. Já os modelos mentais, devido sua estrutura ser articulada em

torno de três conjuntos: elementos (*tokens*), propriedades desses elementos e relações entre eles, são mais abstratos e, como consequência, não estão restritos a uma única situação. Na interpretação de PALMERO:

Na medida em que as imagens representam situações, elas não incluem em si mesmas condições de verdade que permitem deduzir frases anteriores ou subsequentes, nem admitem negações. Os modelos, pela sua capacidade de operar com abstração, permitirão o estabelecimento de deduções e inferências que dotam o usuário de poder explicativo e preditivo. (PALMERO, 2008a, p.63, tradução nossa).

Para JOHNSON-LAIRD, tanto os modelos quanto as imagens são representações altamente específicas quanto ao conteúdo que representam e essa característica os diferencia das representações proposicionais. O autor compara os modelos e as imagens as linguagens de programas de computadores, argumentando que o computador trabalha com um código específico, no entanto, o seu programador não, mas isso não impede o programador de operar sua máquina (MOREIRA, 1996). As linguagens de alto nível são traduzidas pelo computador nesses códigos específicos quando são compiladas.

De maneira análoga, as imagens e os modelos são traduzidos pela mente humana em um código proposicional próprio (“mentais”) que não é e nem precisa ser consciente, pois o ser humano é capaz de operar apenas com proposições, imagens e modelos mentais (PALMERO, 2008a).

Portanto, JOHNSON-LAIRD (1983) defende que há três tipos de representações internas (proposições, modelos mentais e imagens), e esses diferentes modos representacionais são diferentes entre si com relação a suas propriedades intrínsecas (estrutura e conteúdo), com base nas funções que desempenham e nas que servem ou para as quais são geradas (MOREIRA, 1996; PALMERO, 2008).

O foco desse trabalho está nos modelos mentais, visto que a teoria proposta por JOHNSON-LAIRD (1983), referida nessa pesquisa, é baseada na concepção de que os indivíduos constroem modelos mentais baseados na percepção e concepção do mundo para aprendê-lo e serem capazes de agir e reagir sobre ele, sugerindo que (1983, p.156) “a percepção é construção de um modelo de mundo”.

Essa construção é realizada através de processos mentais que são tácitos, ou seja, que não necessariamente têm que ser conscientes pois o fato de não serem não nos impede de agir e reagir sobre o mundo e não nos impossibilita de

interpretar o funcionamento da mente. Esse tipo importante de representação mental será melhor discutido na seção a seguir.

2.2.1 - Modelo mental

JOHNSON-LAIRD (1983) sugere que é através de modelos mentais que as pessoas raciocinam sendo estes considerados pelo autor, assim como as imagens, representações de alto nível que estão no cerne psicológico da compreensão, considerando que são eles que capacitam o sujeito a fazer predições e inferências, desempenhando assim, de acordo com o autor (1983, p.397), um “papel central e unificador na representação de objetos, estados de coisas e sequências de eventos”

Os modelos mentais, portanto, podem ser compreendidos como representações internas que existem na mente dos seres humanos cuja finalidade está em caracterizar as formas pelas quais os indivíduos concebem os sistemas físicos e estados de coisas abstratas com os quais interagem, sendo construídos muitas vezes inconscientemente em seus cotidianos como resultado da percepção, imaginação, compreensão e inferência (MOREIRA, 1996).

Com relação ao conteúdo dos modelos mentais, estes estão limitados por fatores, como as experiências prévias do sujeito com sistemas semelhantes aqueles a serem representados, e assim seu conhecimento. Somado a isso, também estão limitados pela própria estrutura na qual repousam (o cérebro humano que é limitado) bem como pela estrutura de processamento de informações humana (JOHNSON-LAIRD, 1983; MOREIRA, 1996; PALMERO, 2008).

Uma das principais e importantes características dos modelos mentais é o fato de representarem analogicamente (captando a essência) o objeto ou situação em si, existindo assim uma correspondência direta entre esses tipos de representações mentais com aquilo que se busca representar (MOREIRA, 1996).

Essa analogia pode ser total ou parcial, isto é, a representação pode ser totalmente analógica ou então parcialmente analógica e parcialmente proposicional, de maneira que pode haver proposições sem fazerem parte da estrutura do modelo mental. Todavia, segundo JOHNSON-LAIRD, as proposições são e serão interpretadas a luz dos modelos mentais, podendo também atuarem como (GIBIN e FERREIRA, 2012, p.9) “formas de entrada para formação de modelos mentais”.

Outra importante característica está no fato deles estarem em constante evolução, ou seja, são inacabados. Tal processo de evolução dos modelos ocorre à

medida que o indivíduo interage com o sistema e assim adquire conhecimentos e os incorpora a sua estrutura mental (MORERIA, 1996). Esse sistema pode ser compreendido como um conceito aprendido em sala de aula, no caso desse trabalho, o de equilíbrio químico.

Sendo assim, a medida que o aprendiz interage com a temática através de instruções pedagógicas, espera-se que ele construa um modelo mental de equilíbrio químico e, como será discutido na próxima seção, alguns fatores poderão influenciar nesse processo e no produto final derivado deste.

Ainda com relação as características dos modelos mentais, NORMAN (1983) as resume da seguinte maneira: os modelos são incompletos e executados de maneira limitada na mente do indivíduo, isso está relacionado com aquela discussão sobre o repouso e dependência dos modelos com estruturas que são limitadas; são instáveis, podendo ser constantemente revisados a partir da interação com o sistema modelado; eles não possuem fronteiras bem definidas, o que pode resultar em confusões envolvendo conceitos semelhantes e assim são caracterizados como imprecisos; tendem a ser não científicos, pois como citado, comumente são construídos inconscientemente, sendo reflexos das crenças do indivíduo; por fim, eles são econômicos, no que diz respeito a sua elaboração/construção.

Como consequência de tais características, MOREIRA (1996) discute que numa pesquisa envolvendo a investigação dos modelos mentais de estudantes, o pesquisador tem que estar preparado para se deparar, lidar e tentar entender os modelos confusos, incompletos e imprecisos desses discentes, não devendo esperar encontrar modelos elegantes, claros e concisos, pois geralmente eles não são.

No entanto, apesar de tais características e devido à finalidade para qual são construídos (compreender e agir sobre o mundo), eles devem ser funcionais e assim desempenhar a importante função de habilitar o indivíduo na realização de inferências e previsões, bem como na compreensão de eventos e fenômenos, assim como na tomada de decisões e controle de suas execuções (MOREIRA, 1996). Como explica JOHNSON-LAIRD:

[...] [os modelos mentais] permitem que os indivíduos façam inferências e previsões, entendam os fenômenos, decidam qual ação tomar e controlar sua execução e, acima de tudo, experimentem eventos por aproximação [...] (JOHNSON-LAIRD, 1983, p.397, tradução nossa).

Portanto, partindo dessas discussões, é possível dizer que os modelos mentais condicionam nossas ações enquanto seres humanos e, também é possível compreender a consideração proposta por JOHNSON-LAIRD de que pessoas raciocinam utilizando modelos mentais.

Para o autor, os modelos são blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaados de acordo a necessidade (MOREIRA, 1996), estando, assim, intimamente e diretamente relacionados com a capacidade de compreensão e raciocínio dos sujeitos, sendo os guias dos mecanismos cognitivos geradores de descrições e explicações.

Uma vez que a principal função do modelo mental é permitir ao seu construtor a elaboração e realização de explicações e previsões sobre um dado sistema modelado e considerando que para realizar tais explicações e previsões é necessário que o sujeito compreenda aquilo que o modelo representa (MOREIRA, 1996; BORGES, 1999), fica evidenciada a importância desta representação interna no contexto educacional.

Isso porque, pensar envolve tanto a construção quanto o uso de modelos mentais e nessa perspectiva, para compreender e assim explicar um conceito, nesse caso o de equilíbrio químico, ou fazer previsões e descrições deste e/ou utilizando-o, implica em ter um modelo mental para ele, pois conforme pontua BORGES (1999, p.68) “nossa habilidade em dar explicações está intimamente relacionada com nossa compreensão daquilo que é explicado, e para compreender qualquer fenômeno ou estado de coisas, precisamos ter um modelo funcional dele”.

No entanto, o modelo construído pelo aprendiz pode ser simples ou mais complexo, dependendo do conhecimento e grau de instrução que ele possui. Nas seções a seguir serão realizadas breves discussões referentes ao papel dos modelos mentais no processo de ensino e aprendizagem, seu processo de formação e relação com a teoria da aprendizagem significativa.

2.2.2 - Modelos e o processo de ensino e aprendizagem

Na Ciência, o termo “modelo” pode apresentar diferentes significados a depender do contexto e objetivo atribuído a ele em seu uso. Ele pode referir-se desde a um modelo físico, como o emprego de bolinhas e bastões para representar os átomos, as ligações químicas e as moléculas, à uma representação mental dessas espécies, que se refere aos modelos mentais, de maior interesse nessa pesquisa.

Conforme pontuam FERREIRA e JUSTI (2008), o próprio conhecimento científico, incluindo os conceitos químicos, se constrói e reconstrói através de modelos que são criados, testados, validados e utilizados como ferramentas pelos cientistas com a finalidade de explicar um fenômeno e sistemas de interesse. Por isso, os modelos correspondem a peças centrais e fundamentais tanto na elaboração de uma lei ou teoria, quanto também constituem um dos principais produtos elaborados pela Ciência durante esse processo.

No entanto, esse modelo do qual FERREIRA e JUSTI (2008) se referem, corresponde ao modelo científico, um modelo expresso que foi submetido a testes e discussões e aceito pela comunidade científica (GILBERT e BOULTER apud FERREIRA e JUSTI, 2008). Esses modelos, conforme melhor será discutido, diferem dos modelos mentais e devem ser próximos aos modelos conceituais planejados pelos professores.

Logo, além de se constituir parte integrante natural do processo de aquisição e construção do conhecimento pelo ser humano, o modelo também é importante para a construção e evolução da Ciência. Algo importante de se esclarecer é que independentemente do significado atribuído, o modelo, conforme discutem FERREIRA e JUSTI (2008, p. 32) “não é uma cópia da realidade, muito menos a verdade em si, mas uma forma de representá-la originada a partir de interpretações pessoais desta”, assim como pontua JOHNSON-LAIRD (1983).

De acordo com NORMAN (1983), os modelos conceituais são aqueles criados por profissionais de uma determinada área com a finalidade de permitir a compreensão e/ou explicação dos sistemas e/ou estados de coisas físicas e também abstratas. Por isso, são representações consistentes, completas e precisas.

No contexto educacional, um modelo conceitual é planejado pelo professor para ser utilizado como ferramenta no processo de ensino e aprendizagem, ou seja, o propósito de sua utilização é instrumental. Nessa perspectiva, o objetivo educacional em sala de aula é levar o aprendiz a construir modelos mentais funcionais através de modelos conceituais (MOREIRA, 1996).

Conforme já discutido, os modelos mentais são aquelas representações que as pessoas constroem de acordo como concebem os sistemas físicos e/ou estado de coisas abstratas, que na perspectiva educacional ocorre através do modelo conceitual. Portanto, diferentemente dos modelos conceituais, eles não precisam e

normalmente não são tecnicamente acurados, mas, como também já discutido, precisam ser funcionais (MOREIRA, 1996).

Essa funcionalidade significa dizer que os modelos mentais dos estudantes podem ser deficientes em inúmeros aspectos (confusos, instáveis, incompletos), mas devem necessariamente ajudar os discentes a realizar explicações e previsões sobre aquilo que é analogamente representado por eles, testando e “rodando” tais modelos, de maneira que eles naturalmente evoluam (MOREIRA, 1996, 2011).

Em outras palavras, os modelos conceituais são planejados e elaborados por pessoas que utilizam modelos mentais com a finalidade de favorecer a compreensão de sistemas físicos ou conceitos abstratos por parte de outras pessoas que também utilizam modelos mentais. De fato, como discutido, a mente apenas opera com modelos mentais, no entanto, conforme pontua MOREIRA (1996 p. 201) “os modelos conceituais podem ajudar na construção de modelos mentais que explicam, predizem consistentemente com o conhecimento aceito em uma certa área”.

Portanto, no ensino, o professor ensina com modelos conceituais e espera que o aprendiz construa modelos mentais consistentes a partir disso, e assim sejam consistentes com os sistemas físicos modelados, de maneira que (MOREIRA, 2011 p. 203) “aprender é construir modelos mentais do que está sendo ensinado e ensinar é facilitar a construção e revisão de modelos mentais”.

Para se atingir esse objetivo, os modelos conceituais ensinados devem ser funcionais, utilizáveis e aprendíveis (NORMAN, 1983), segundo nossa interpretação, devem ser potencialmente significativos evidenciando assim sua importância no processo de ensino e aprendizagem.

Esses critérios propostos por NORMAN (1983), como o próprio autor pontua, apesar de parecem óbvios, nem sempre são observados na prática, pois o que muito se observa é o emprego do modelo de uma postura padrão de ensino que ocorre através do processo de transmissão-recepção de informações, no qual o papel do professor está em transmitir os conhecimentos para os alunos que, vistos como “tábulas rasas” (mentes vazias), ao receberem tal conhecimento gradativamente são “preenchidas” com essas informações.

No geral, os professores universitários de instituições públicas e privadas não consideram os conhecimentos prévios dos alunos e trabalham os conteúdos de maneira descontextualizada (SCHNETZLER e ARAGÃO, 1995; GIBIN

e FERREIRA, 2009), o que poderia explicar os problemas associados a aprendizagem do conceito de equilíbrio químico, foco de investigação nessa pesquisa.

2.2.3 - Modelos mentais e conceitos químicos

O surgimento de novos problemas e inquietações relacionadas ao processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos fez com que a pesquisa nesta área nas últimas décadas sofresse rupturas e evoluísse. MOREIRA (1996) pontua que os anos setenta ficou marcado pelo levantamento e discussões das concepções alternativas (CA).

Como consequência dos resultados obtidos nessas pesquisas, nos anos oitenta o foco se voltou para investigações relacionadas ao movimento das mudanças conceituais (MMC), pois inicialmente se contemplava a ideia de que as concepções alternativas dos discentes poderiam ser abandonadas e substituídas pelos novos conceitos aceitos pela comunidade científica (MOREIRA, 1996).

No entanto, os resultados dessas pesquisas, que buscavam essa substituição total das CAs em detrimento daquelas aceitas pela comunidade científica, revelaram que esse processo é complexo e a maneira como se pensava ocorrer (abandono do conhecimento prévio) precisava ser repensada. A explicação para essa dificuldade e/ou complexidade pode ser encontrada nos pressupostos da teoria proposta por AUSUBEL et al. (1980) conforme já discutido neste trabalho.

Portanto, a partir da década de noventa o foco das pesquisas em Ensino de Ciências se orientaram no sentido de tentar buscar compreender como as concepções alternativas são construídas e de que forma poderia ocorrer sua evolução. Isso levou tanto as pesquisas quanto os pesquisadores a um novo estágio mais complexo do pensamento humano, que são os estudos das representações internas, em particular dos modelos mentais adotando as teorias construtivistas e cognitivistas como referências para o planejamento e desenvolvimento dessas pesquisas (MOREIRA, 1996).

Tendo em vista que o raciocínio ocorre através de modelos mentais e, portanto, todo o processo de compreensão e aprendizagem, as pesquisas envolvendo esse tipo de representação interna visam entender o significado que os fenômenos em investigação possuem para o aluno, bem como a lógica utilizada pelo discente para explicar tais fenômenos, conceitos e/ou situações, evidenciando a importância das investigações sobre modelos mentais e os resultados obtidos através dessas pesquisas no contexto educacional (MOREIRA, 1996).

Com relação ao Ensino de Química, GIBIN (2013, 2015) e GIBIN e FERREIRA (2009, 2010, 2012) desenvolveu e esteve relacionado com o desenvolvimento de algumas investigações de modelos mentais sobre alguns conceitos químicos de estudantes, contribuindo para as pesquisas nessa área.

O autor (GIBIN, 2015) também cita uma série de pesquisas relacionadas aos modelos mentais de conceitos químicos já realizadas por outros autores, como por exemplo DORI e BARAK (2001), que desenvolveram estudos referentes as representações mentais de alunos sobre moléculas orgânicas, COLL e TAYLOR (2002), que investigaram sobre ligações químicas e VELÁZQUEZ-MARCANO et al. (2004) que estudaram os modelos mentais sobre os fenômenos de difusão e efusão de alunos graduandos no curso de Química.

No cenário brasileiro, é possível encontrar na literatura diferentes pesquisas relacionadas ao estudo de modelos mentais sobre conceitos de Física. Já com relação aos conceitos químicos, esses estudos ainda estão se consolidando, tendo poucas pesquisas realizadas nessa perspectiva quando comparadas a outros movimentos, como os das concepções alternativas. Portanto, corresponde a uma área recente de investigação, que merece e vem ganhado mais atenção no Brasil, entretanto, alguns trabalhos como o de GIBIN são encontrados.

Os autores SANTOS e GRECA (2005) investigaram as representações mentais de graduandos em Química sobre o conceito de interações intermoleculares, GIBIN e FERREIRA (2009) realizaram uma investigação sobre os modelos mentais de alunos do Ensino Médio para o conceito de solubilidade, SOUZA e CARDOSO (2009) investigaram os modelos mentais para o conceito de dissolução de sais de estudantes de pós-graduação em Química.

GIBIN e FERREIRA (2010) investigaram os modelos mentais de diferentes conceitos químicos expressos por discentes de um curso de Química da UFSCar, GIBIN (2013) realizou uma investigação sobre o modelo mental dos alunos de Ensino Médio sobre o conceito geral de transformações químicas e outros relacionados, bem como um estudo sobre a evolução destes modelos a partir da abordagem experimental investigativa.

Em outro trabalho, GIBIN e FERREIRA (2012) investigaram os modelos mentais de alunos do Ensino Médio sobre o conceito de mistura heterogênea e MARQUES (2015) realizou um estudo sobre o desenvolvimento dos modelos mentais

sobre o conceito de ligações químicas, relacionando-os com obstáculos epistemológicos.

Com relação ao equilíbrio químico, a literatura revela que as pesquisas e discussões envolvendo modelos mentais sobre a temática ainda estão se desenvolvendo. RAVIOLO e AZNAR (2003) realizaram um intenso trabalho de revisão bibliográfica sobre pesquisas já desenvolvidas até o ano de 2000 em diferentes locais envolvendo esse conceito. Segundo os autores, até aquele ano nenhuma pesquisa havia sido publicada sobre os modelos mentais construídos por estudantes sobre o tema de equilíbrio químico.

No Brasil, são encontrados poucos trabalhos. SANTOS (2014) desenvolveu um estudo para investigar os possíveis modelos mentais de estudantes de licenciatura em Química da Universidade Federal de Sergipe sobre o conceito de equilíbrio químico. O objetivo foi o de compreender os elementos e caminhos utilizados pelos licenciandos para a construção de seus modelos mentais e como o reconhecimento desses auxiliam no processo de formação conceitual e pedagógica desses alunos, além das contribuições do estudo dos modelos mentais de equilíbrio químico na formação de professores de Química.

No trabalho de dissertação defendido e publicado por SANTOS (2014), bem como nos demais juntamente com outros autores (SANTOS et al., 2013; SANTOS et al., 2015), a pesquisadora investigou os modelos de licenciandos através de questionários e gravação em áudio e vídeo. Foi utilizado um experimento envolvendo os gases tetróxido de dinitrogênio (N_2O_4) e dióxido de nitrogênio (NO_2), como uma maneira direta de investigar os modelos mentais desses licenciandos (através da forma escrita, simbólica ou falada, expressões ou indagações) bem como os caminhos trilhados pelos discentes para a construção destes.

A autora concluiu que os licenciandos apresentam dificuldades em estabelecer modelos próximos ao científico para explicar o fenômeno, apresentando modelos simples e próximos ao de alunos de Ensino Médio.

Já os autores FREITAS et al. (2017), investigaram os modelos mentais sobre o conceito de equilíbrio químico de estudantes do Ensino Médio através do uso de imagens. Os autores concluíram que a maioria dos estudantes apresentou ideias simples, atreladas ao senso comum, comparando o conceito com uma balança, e apresentando a ideia de que reagentes e produtos apresentam a mesma quantidade, além de confusões entre a temática e outros conceitos químicos.

Em nenhum desses trabalhos em que os modelos mentais sobre equilíbrio químico dos discentes foram investigados foi utilizada a técnica de animação *stop motion* como instrumento de coleta de dados, e nem realizadas discussões e interpretações destes a luz da teoria da aprendizagem significativa. Isto evidencia a importante contribuição desta pesquisa para a compreensão dos problemas associados ao processo de ensino e aprendizagem da temática, conforme melhor será discutido na próxima seção.

2.3 - Modelos mentais e aprendizagem significativa

O modelo mental é constituído por elementos básicos que JOHNSON-LAIRD (1983) denomina de “*tokens*”, sua estrutura é articulada em torno desses elementos, mas além disso, de suas propriedades e também das relações existentes entre elas. Quando relacionados, tais elementos são organizados em uma certa estrutura (o modelo) para representar um determinado estado de coisas, como por exemplo o conceito químico de equilíbrio.

O autor sugere que a construção do modelo mental pode ocorrer a partir do discurso, da percepção e instrução. Contudo, sua estrutura poderá variar dependendo do processo envolvido nessa construção. No geral, modelos construídos a partir do discurso, que descrevem um conceito ou fenômeno, podem apresentar apenas um mínimo de estruturas analógicas e, nesse caso, podem ser incompletos, indeterminados e invariáveis, pois irá depender da atribuição de significados as preposições que constituem tal discurso por parte do aprendiz (MOREIRA, 1996; PALMERO 2008a).

Isso porque esse processo, conforme já discutido, é dependente da estrutura cognitiva, visto que JOHNSON-LAIRD (1983), assim como AUSUBEL et al. (1980), também defendem que aquilo que podemos conceber do mundo depende não apenas do que está no mundo, mas também de nosso aparato conceitual.

Isto é, para que o indivíduo compreenda um discurso, o que apenas ocorre a partir da construção de um modelo mental, primeiramente ele formula proposições com base nas sentenças lidas ou ouvidas e, caso elas possuam sentido para ele, se conectaram e relacionaram com seus conhecimentos até que o modelo mental seja construído e assim, permita a interpretação desse discurso (PALMERO, 2008a).

No entanto, se essas proposições não forem articuladas, ou seja, não fizerem sentido para o aprendiz, ele apenas compreenderá frases soltas, desconectas, de maneira que a compreensão deste discurso será muito baixa ou até mesmo nula (PALMERO, 2008a). Essas discussões já evidenciam a importante relação entre a teoria dos modelos mentais e da aprendizagem significativa.

Os modelos mentais construídos a partir da percepção, que incluem por exemplo relações espaciais, podem apresentar uma grande analogia estrutural (em duas ou três dimensões) e corresponderão a uma entidade que corresponde a um conceito ou estado de coisas. No ensino, esse tipo de construção pode ser estimulado através do emprego de imagens, animações, filmes e modelos expressos com a finalidade de articular e relacionar os fenômenos nos três níveis representacionais da química (GIBIN, 2013).

Independentemente da maneira pela qual é construído, o processo de formação do modelo mental, conforme proposto por D'AMORE apud SOUZA (2013), envolve a interação, acomodação e equilíbrio de sucessivas imagens mentais (partes do modelo) até que uma delas se torne estável o suficiente a ponto de não sofrer desequilíbrios cognitivos consideráveis provenientes de estímulos internos ou externos, como a exposição do discente a uma nova tarefa de aprendizagem.

Portanto, o modelo mental para um determinado conceito pode ser comparado, de acordo com SOUZA (2013, p.177) “a um bloco cognitivo resultante da acomodação de n imagens mentais, que se encaixam harmonicamente mantendo conexões entre si”. Na Figura 2.3 é apresentado um esquema representativo desse processo de formação dinâmica do modelo mental, em que cada círculo representa as imagens acomodadas.

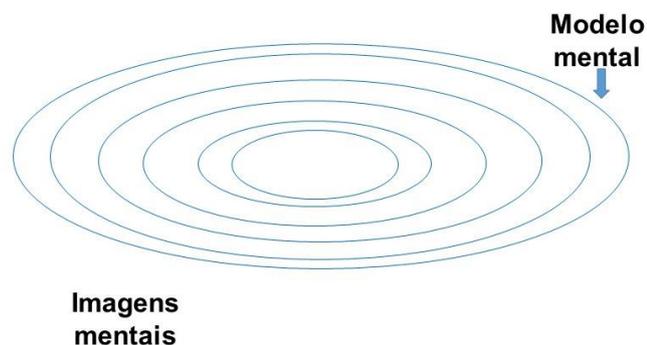


FIGURA 2. 3 - Dinâmica de interação, equilibração e acomodação de imagens para formação do modelo mental. Fonte: Adaptado de SOUZA (2013).

O que se propõe com essa figura, juntamente com as discussões realizadas, é a demonstração de que durante esse processo de acomodação/equilibração de n imagens mentais, as novas (externas) se relacionam com aquelas já existentes (internas) de maneira que as mais externas além de compartilharem das mesmas propriedades que as internas, acabam acrescentando outras, isto é são adicionadas novas informações ao modelo mental, conforme pontua SOUZA (2013).

Quando uma “ n ” imagem mental mais externa não absorver mais elementos, mais informações que sejam capazes de gerar desequilíbrios cognitivos consideravelmente elevados, tornando-se assim menos suscetível a sofrer modificações, tem-se como resultado o modelo mental de um determinado conceito que norteará o raciocínio do aprendiz na realização das atividades de ensino (SOUZA, 2013).

Assim, uma imagem mental “ n ” acomodada poderia ser compreendida como um modelo mental até que se desequilibre e novamente se acomode, incorporando os elementos decorrentes desse estímulo, resultando em uma imagem mental mais elaborada ou um “*novo modelo mental*”, conforme sugere SOUZA (2013). Logo, se trata de um processo dinâmico de interação entre as imagens “antigas” e as novas.

Essas imagens mentais prévias dos alunos se forem compreendidas e consideradas como seus conhecimentos prévios, na perspectiva de AUSUBEL et al.

(1980), então a aquisição de novas informações dependerá muito das imagens já formadas e acomodadas na estrutura cognitiva do aprendiz, formando o que SOUZA (2013) denomina de “modelos mentais prévios”, de modo que, segundo o autor (SOUZA, 2013, p.180) “a aprendizagem significativa ocorreria pela interação entre velhas e novas imagens mentais, originando uma imagem altamente diferenciada, o resultado final desse processo seria um modelo mental pujante”.

Nesse contexto de aquisição de informações ou construção/reconstrução do conhecimento, fica evidenciado o importante papel da estrutura cognitiva do aprendiz e sua relação com a aprendizagem significativa.

Além da terminologia “modelos mentais prévios”, utilizada por SOUZA (2013), nesse trabalho adotaremos também a terminologia “modelos subsunçores” para se referir a conceitos prévios (subsunçores) necessários a aprendizagem de equilíbrio químico.

Nesse momento, consideramos que seja importante esclarecer alguns pontos relacionados à formação dos modelos mentais e a relação com a aprendizagem significativa que está sendo discutida.

De acordo com JOHNSON-LAIRD (1983), os modelos mentais, conforme pontua MOREIRA (1997), são geralmente de trabalhos, isto é, são construídos no ato para representar um conceito, evento, objeto e são instáveis, ou seja, funcionam naquela situação e após são descartados.

No entanto, conforme MOREIRA discute (1997, p. 30), esses modelos de trabalho não são construídos do zero, “eles são construídos a partir de entidades mentais já existentes, as quais, a rigor, seriam também modelos mentais (quer dizer, há modelos mentais dentro de modelos mentais ”. Assim, concordamos com SOUZA (2013), em sua sugestão relacionada a terminologia “modelos prévios”.

MOREIRA (1997) também discute que seria possível imaginar que a geração de modelos de trabalho requer que o indivíduo possua conceitos subsunçores, no entanto, pontua que esses próprios subsunçores já estariam representados na forma de modelos, pois para JOHNSON-LAIRD (1983) os conceitos são assim representados.

Somado a isso, também é extremamente possível falar em modelos mentais estáveis, isto é, modelos que devido sua funcionalidade em diversas situações, adquiriram certa estabilidade cognitiva e ficam armazenados na memória

de longo prazo, sendo transferidos a memória de curto prazo quando necessários (MOREIRA, 1997).

SOUZA (2013) inclusive faz uma breve discussão sobre as aparentes diferenças entre essa concepção de modelo mental de JOHNSON-LAIRD (1983) e aquela de GENTNER e STEVENS apud SOUZA (2013), dizendo que esses últimos consideram os modelos mentais como estruturas estáveis cognitivamente. O autor ainda discute o processo dinâmico de formação descrito anteriormente nessa seção segundo esses dois pontos de vista:

Ora, se [...] olharmos **cada imagem mental** como **um modelo mental**, então teríamos que o **modelo mental anterior é “descartado” em prol de um modelo mental mais acurado**, o que estaria **de acordo com a concepção de Johnson-Laird (1983)**. No entanto, [...] a um mesmo **modelo mental inicial** (representado por uma imagem mental) vão sendo **incorporados elementos que o fazem ficar cada vez mais potente**, dando ideia de **estabilidade cognitiva**, como apregoam Gentner e Stevens (1983). Parece que **essas duas visões de modelos mentais são**, na verdade, **complementares**. (SOUZA, 2013, p.179, grifo nosso).

Portanto, reforçamos e justificamos as considerações relacionadas a utilização do termo “modelos prévios” ou “modelos subsunçores”. No que diz respeito a aprendizagem significativa, consideramos que esse processo de interação e dependência entre os modelos (ou imagens) prévios as novas imagens, que resultam na reconstrução desse subsunçor, pode ser relacionado ao processo de assimilação de novas ideias àquelas pré-existentes na estrutura cognitiva do sujeito.

Sendo assim, os modelos prévios poderiam corresponder aos conceitos subsunçores da teoria ausubeliana, se tratando, portanto, do conhecimento prévio do aprendiz, os quais poderão ou não atuarem como pontos de ancoragens para novas informações e/ou conceitos. Assim, podem influenciar no tipo de aprendizagem obtida no final desse processo, a depender se a assimilação de novas informações, novas imagens ocorreram de maneira substantiva e não arbitrária ou literal e arbitrária.

Isto é, caso as novas informações a serem adquiridas não encontrem na estrutura cognitiva do sujeito modelos subsunçores adequadamente desenvolvidos e inclusivos para interagir, se relacionarem e se ancorarem, provavelmente serão incorporadas mecanicamente. Ou seja, como proposições não conectadas e memorizadas a esse modelo e, como consequência o sujeito aprenderá tal conceito de forma predominantemente mecânica (Figura 2.1a).

Por outro lado, se tais informações novas encontrarem nessa estrutura modelos subsunçores adequadamente desenvolvidos para se relacionarem e assimilarem, têm-se a aprendizagem predominantemente significativa (Figura 2.2b).

Partindo dessas relações, o que propomos nesse trabalho é que a aprendizagem significativa de um conceito é dependente e resultante do processo de construção de um modelo mental que denominaremos de significativo e próximo ao conceitual para ele. Ao passo que a aprendizagem predominantemente mecânica resulta da construção de um modelo mental que denominaremos de mecânico ou parcialmente significativo divergente do conceitual.

Isto é, o caminho para aprendizagem significativa começa com a aquisição de novas informações pelo aprendiz, através da relação entre seus conhecimentos prévios e com essas novas informações e isso, conforme discute MICHAEL (2004), envolve a construção de modelos mentais.

Em outras palavras, propomos que não seja possível e/ou viável falar de aprendizagem significativa, sem falar de modelos mentais, de maneira que ambas teorias estão diretamente e intimamente conectadas, pois conforme discutido, um modelo complexo tende a capacitar o aluno a prever o que o conceito “contém”, como ele funciona e o motivo de se comportar daquela maneira, de forma que o aprendiz será capaz de aplicar seu modelo a diversas situações e também simular mentalmente seu uso para prever e propor explicações em resoluções de problemas (BORGES, 1999).

No entanto, conforme pontua MOREIRA (1997, p. 29), “se a pessoa é capaz de explicar e fazer previsões sobre tal sistema isso é, sem dúvida, evidencia de aprendizagem significativa”. Logo, propomos que a construção de um modelo significativo próximo ao conceitual capacitará o discente a dizer sobre a composição, funcionamento e o motivo de determinado conceito ou fenômeno ser e se comportar daquela maneira, apresentando as características da aprendizagem significativa já discutidas.

No entanto, caso o discente construa um modelo mecânico, o que será observado é a limitação do discente em explicar determinado conceito ou fenômeno através da repetição de proposições, enunciados, leis e fórmulas memorizadas. Ou seja, de forma mecânica, devido não ter sido construído e reconstruído a partir da conexão entre os conceitos, sem a atribuição de significado e relação entre os

elementos básicos constituintes desse modelo, de modo que o aprendiz não apresentará flexibilidade de aplicação e representação do mesmo.

Numa abordagem voltada para a aprendizagem do conceito de equilíbrio químico, mas que também é aplicável a qualquer conceito, o que se espera de um estudante ao iniciar o estudo sobre a temática é que ele inicialmente formule um dado modelo mental simples, possivelmente até um modelo predominantemente mecânico, que represente elementos parciais do sistema/fenômeno, partindo de suas imagens mentais iniciais ou prévias (incluindo suas CAs) (SOUZA, 2013).

Mas com o tempo evolua e se torne mais significativo e próximo ao conceitual, a depender daquelas condições de ensino e aprendizagem (material potencialmente significativo e pré-disposição a aprender significativamente).

Isso porque nesse processo, tais imagens ou modelos prévios poderão ou não sofrer desequilíbrios cognitivos caso sejam distantes do modelo conceitual (o que normalmente acontece), em função da instrução recebida do professor e de como essas novas informações se relacionaram com a estrutura cognitiva do discente e de sua pré-disposição em aprender.

Logo, a partir do momento em que são elaborados testes nesses modelos iniciais, em diferentes ocasiões pedagógicas devidamente planejadas na perspectiva de AUSUBEL et al. (1980), poderá ocorrer a aquisição dessas novas informações, desses novos elementos a esse modelo, e dependendo de como ocorrerá esse processo, haverá correções nestes modelos subsunçores, sendo reformulados até atingirem a funcionalidade que atenda às necessidades do aluno naquele momento, ou seja, até que façam sentido para o discente.

Assim sendo, na sala de aula, modelos mentais para o conceito de equilíbrio (e qualquer outro) estão sendo formulados e reformulados a todo o momento pelos discentes. Isso geralmente ocorre de maneira inconscientemente tanto por parte dos alunos quanto também dos professores (SOUZA, 2013).

Portanto, quando os modelos construídos pelos discentes forem coerentes do ponto de vista científico (modelo significativo próximo ao conceitual), resultarão no êxito nas tarefas de ensino, podendo ser interpretados como um indicativo de aprendizagem significativa.

Porém, quando tal modelo é considerado incoerente, com base nesse mesmo referencial científico devido a construção sem assimilação entre as novas informações e modelos subsunçores, o resultado são as dificuldades de

aprendizagem e os problemas a ela associados decorrentes da aprendizagem mecânica. Isso porque haverá a construção de um modelo mecânico ou parcialmente significativo e divergente do conceitual.

Nessa perspectiva, justificamos com base nessas discussões que os modelos mentais podem ser utilizados como potentes instrumentos de verificação da aprendizagem significativa ou mecânica dos discentes de curso de Licenciatura em Química sobre o conceito de equilíbrio químico. Além disso, podem fornecer informações importantes referentes a como o conhecimento é construído por parte dos alunos e dos significados atribuídos a ele por esses discentes.

Isso porque o que está sendo defendido nesse trabalho é que a aprendizagem, na abordagem cognitivista proposta por AUSUBEL et al. (1980) irá depender do modelo mental construído pelo discente, pois é durante o processo de testes e reformulações desse modelo que se forma um sistema cognitivo que capacitará o sujeito a compreender significativamente ou mecanicamente o objeto em estudo (SOUZA, 2013), no caso o equilíbrio químico.

As discussões realizadas sobre o processo de construção dos modelos mentais, bem como sua relação com o processo de aprendizagem, evidenciam o caráter idiossincrático desse processo, isto é, dependente da estrutura cognitiva do sujeito, de como ele concebe o mundo e o representa em sua mente e de como as novas informações irão se relacionar com aquelas já existentes nessa estrutura. Tais características apresentam fortes implicações pedagógicas.

Por essas razões, por exemplo conforme pontuam MOREIRA (1996) e GIBIN (2013), nenhum modelo mental é igual ao outro, os modelos dos discentes em uma sala de aula podem ou não apresentarem semelhanças entre si, portanto, podem existir vários modelos mentais que representam muito bem determinados conceitos, não existindo apenas um único modelo capaz de fazê-lo, ou até mesmo contrário.

Relacionando com a temática em investigação nessa pesquisa, isso quer dizer que os discentes poderão apresentar diferentes modelos inadequados, mas também diferentes modelos muito bons para o conceito de equilíbrio químico.

No entanto, conforme esses mesmos autores discutem, o modelo mental de um conceito deve ser capaz de representar tanto o essencial quanto a amplitude desse conceito, quer dizer, o núcleo de qualquer modelo mental de equilíbrio químico necessariamente deve representar as propriedades características que descrevem esse conceito, bem como procedimentos que definem a amplitude deste.

Assim sendo, independentemente da versão do modelo mental do conceito de equilíbrio químico a ser encontrado, cada um deve incluir o núcleo central que o identifique como sendo de equilíbrio químico. A partir de uma consulta prévia em alguns livros didáticos de Ensino Médio e Superior, bem como da literatura, concordamos com MACHADO e ARAGÃO (1996), de que para compreensão do estado de equilíbrio químico faz-se necessária a compreensão de que as reações ocorrem com velocidades iguais (são simultâneas), os reagentes e produtos coexistem em concentrações constantes, o processo é dinâmico e reversível. E isso nos níveis macroscópico, simbólico e submicroscópico.

Logo, consideramos que essas características (denominadas nesse trabalho de elementos de alta complexidade) constituem o “núcleo” de qualquer modelo de equilíbrio químico. Dessa maneira, essa investigação e análise foi realizada no sentido de verificar a aprendizagem dos alunos sobre a temática levando-se em consideração tais aspectos essenciais, além do conhecimento prévio do conceito de reação química e dos elementos de baixa complexidade, conforme melhor será explicado nas seções seguintes.

Somado a isso, também foi investigado se os estudantes construíram modelos mentais significativos ou mecânicos para o conceito de equilíbrio químico através avaliação da capacidade de cada discente em representar, explicar e utilizar tal conceito nas diferentes situações as quais foram apresentados (instrumentos de pesquisa), bem como a maneira que isso ocorreu, ou seja, se foi com suas próprias palavras ou se apegando e se limitando ao uso de frases e conceitos memorizados e os possíveis motivos que resultaram em tal construção.

Com relação ao processo de formação de modelos mentais para conceitos químicos, GIBIN e FERREIRA (2009) e GIBIN (2013) afirmam que esses modelos são estabelecidos principalmente por meio da relação entre os níveis macroscópicos e submicroscópico, de acordo com o autor (2013, p. 21) “é preciso que o estudante tenha contato com um sistema ou que o sistema seja descrito verbalmente, para que, desse modo, ele possa elaborar um modelo mental, em nível submicroscópico”.

Por isso, o autor sugere que ao tentar desenvolver os modelos mentais dos estudantes para um conceito químico é interessante iniciar as explicações e discussões através da observação de algo concreto (nível macroscópico). Como por exemplo através de uma atividade experimental e, na sequência o professor deve

utilizar modelos moleculares, vídeos, imagens ou animações com o intuito de estimular os alunos a pensarem sobre esse fenômeno no nível submicroscópico e assim, estabelecer relações entre tais níveis, construindo um modelo mental mais consistente para o fenômeno. A Figura 2.4 exemplifica esse processo de formação dos modelos mentais discutido.

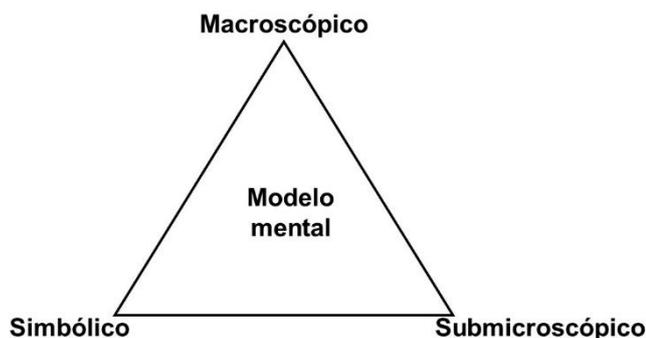


FIGURA 2. 4 - Formação de modelos mentais e níveis representacionais. Fonte: GIBIN (2013).

Essas considerações realizadas pelo autor se sustentam em trabalhos já publicados por JOHNSTONE (1993, 2000), no qual o autor discute que a Química e seus conceitos correspondem a uma ciência que é explicada e compreendida em três diferentes níveis representacionais: o macroscópico, o submicroscópico e o simbólico.

O nível macroscópico corresponde aos aspectos observáveis do fenômeno, ou seja, está relacionado ao mundo concreto sensorial. O nível submicroscópico corresponde ao universo atômico-molecular, no qual o fenômeno observado macroscopicamente é explicado e/ou compreendido através do arranjo, rearranjo, interação e movimentação de moléculas, átomos, íons e outras espécies. Por fim, o nível simbólico refere-se a linguagem própria da Química, que inclui representações simbólicas de átomos, moléculas, fórmulas e equações.

Segundo JOHNSTONE (1993, 2000), para de fato entender um determinado fenômeno químico, o estudante necessita compreendê-lo nesses três diferentes níveis e, além disso, o discente precisa conseguir transitar entre esses níveis. De acordo com TURNER apud GIBIN (2013), o motivo de muitos estudantes não obterem sucesso em cursos de Química está relacionado com o fato de não

aprenderem a visualizar os sistemas ou fazer desenhos que ajudassem a resolver problemas.

De fato, o que as pesquisas vêm demonstrando é que muitos discentes apresentam dificuldades em compreender, transitar e estabelecer relações adequadas entre os diferentes níveis, apresentando maiores problemas com as representações submicroscópica e simbólica pois o pensamento do aluno é elaborado a partir de informações sensoriais e tais níveis são invisíveis e abstratos.

Com base na teoria de JOHNSON-LAIRD (1983) o motivo de tais dificuldades está atrelado aos modelos que estão sendo construídos para os conceitos, pois concordamos com afirmação proposta por GIBIN (2009, p.181) de que “os modelos mentais são as estruturas cognitivas internas das pessoas, que correspondem ao modo como as pessoas compreendem os fenômenos químicos”.

E, uma vez que a construção desses modelos na Química ocorre principalmente através dos níveis submicroscópico e macroscópico, partimos da hipótese de que no processo de construção do modelo mecânico (resultante na aprendizagem predominantemente mecânica) de um determinado conceito, este não parece ocorrer com base nos diferentes níveis representacionais, enquanto que um modelo do tipo significativo assim o faz. Por isso, justificamos o motivo de analisarmos os modelos mentais dos discentes nesses diferentes níveis e também sua relação com a aprendizagem.

Considerando essas discussões, nesse trabalho assumiu-se que a aprendizagem significativa do equilíbrio químico é aquela que capacita o aluno a representar o conceito (núcleo do modelo de equilíbrio químico) nos diferentes instrumentos propostos, relacionando-o nos diferentes níveis representacionais da química.

Por outro lado, o modelo mecânico se caracteriza pelo uso e limitação de frases, conceitos e fórmulas memorizadas e de maneira automática, focado nos níveis macroscópico e simbólico, resultando na dificuldade do discente em explicar e representar o núcleo do modelo de equilíbrio químico nos diferentes instrumentos de coleta.

Tais considerações, que incluem os elementos de alta e baixa complexidade, nortearão todo o desenvolvimento dessa pesquisa, conforme será melhor explicado no próximo capítulo no qual serão discutidos todos os procedimentos metodológicos adotados.

Capítulo 3 – Questão de pesquisa e metodologia

Nesse capítulo será apresentada a questão e o objetivo dessa pesquisa, bem como a escolha pelo tipo de pesquisa, os instrumentos e o procedimento de coleta, além da metodologia escolhida para tratamento e análise dos dados.

3.1 – Questão de pesquisa e objetivo

Com base nas discussões apresentadas até o momento, evidenciamos a necessidade do desenvolvimento de pesquisas relacionados ao processo de aprendizagem do conceito de equilíbrio químico, com a finalidade de melhor compreender os inúmeros problemas já relatados que ainda são frequentes, é justamente nessa perspectiva que essa pesquisa está situada.

Também buscamos ressaltar a importante contribuição que os pressupostos da teoria da aprendizagem significativa e dos modelos mentais apresentam para os processos de ensino e aprendizagem.

Portanto, nesse trabalho propomos a investigação da aprendizagem do conceito de equilíbrio químico através do levantamento e discussão dos modelos mentais que licenciandos vêm construindo sobre a temática, tendo como referenciais teóricos a teoria da aprendizagem significativa, proposta por AUSUBEL et al. (1980) e a teoria dos modelos mentais, proposta por JOHNSON-LAIRD (1983) e demais autores conforme já discutido.

Desse modo, a questão a ser respondida nesse trabalho é: **Porque os licenciandos de um curso de Química possuem dificuldades em construir modelos mentais significativos próximos ao conceitual para o conceito de equilíbrio químico?**

Nessa questão, há outras indagações implícitas, sendo elas: Quais os modelos mentais que os licenciandos estão construindo para a temática? As construções desses modelos têm resultado na aprendizagem com maior caráter significativo ou mecânico? Como eles possivelmente foram construídos?

Para responder a essas questões e com isso atingir o objetivo proposto nesse trabalho, o de contribuir para a compreensão dos diversos problemas envolvidos no processo de aprendizagem do conceito, foram planejados e construídos diferentes instrumentos para coleta de dados, levando-se em consideração a importância do uso de ferramentas diversificadas para o estudo dos modelos mentais dos alunos, como testes escritos, entrevistas e animações.

3.2 - Contexto da pesquisa

A presente pesquisa, que seguiu uma abordagem qualitativa, foi realizada em dois momentos importantes. O primeiro constituiu-se na etapa de pré-teste, desenvolvida com licenciandos da Universidade Federal de São Carlos, e teve a finalidade de testar os instrumentos de coleta de dados para que eventuais modificações fossem realizadas. Esses resultados não serão discutidos.

O segundo momento constituiu-se na etapa de coleta de dados, que foi realizada com licenciandos de uma outra universidade pública do estado de São Paulo. Ambas as etapas ocorreram nas dependências das universidades. Os dados foram coletados através de um minicurso planejado e ministrado pela pesquisadora, com a supervisão do orientador, no segundo semestre de 2018, em horários distintos aos de aula da graduação.

De acordo com LÜDKE e ANDRÉ (2018), a pesquisa de caráter qualitativo é aplicada quando se busca o entendimento de uma determinada situação, quando o pesquisador se preocupa em identificar, interpretar e retratar as opiniões e respostas dos sujeitos em análise de modo a permitir o entendimento de determinado fenômeno, além de buscar respostas às questões particulares que levam em consideração o contexto no qual os sujeitos estão inseridos.

Nessa abordagem as questões a serem investigadas são formuladas com a finalidade de estudar os fenômenos em toda a sua complexidade. A preocupação está tanto em encontrar o sentido do fenômeno quanto os significados atribuídos a eles pelos sujeitos, de acordo com LÜDKE e ANDRÉ (2018, p. 14) “nesses estudos há sempre uma tentativa de capturar a ‘perspectiva dos participantes’, isto é, a maneira como os informantes encaram as questões que estão sendo focalizadas”, priorizando o processo em detrimento do produto.

Sendo assim, na investigação de caráter qualitativo a atenção está na descrição, indução, e no estudo das percepções pessoais, envolvendo a participação direta do pesquisador no processo de coleta dos dados, exigindo grande envolvimento deste com o fenômeno investigado e com os sujeitos da pesquisa, entretanto sem influenciar diretamente na qualidade das informações a serem coletadas.

Diferentes métodos investigativos são utilizados na investigação de cunho qualitativo, investigação esta que é realizada utilizando-se de dados predominantemente descritivos geralmente coletados através de entrevistas,

questionários, desenhos, fotografias, etc., os quais possibilitarão ao pesquisador construir sua análise, baseado em referências teóricas, alcançando a compreensão mais profunda do problema investigado.

No presente trabalho, adotamos a abordagem qualitativa de estudo de caso que apresenta como preocupação central, segundo LÜDKE e ANDRÉ (2018, p. 24) a “compreensão de uma instância singular. Isso significa que o objeto estudado é tratado como único, uma representação singular da realidade que é multidimensional e historicamente situada”.

Essa abordagem, ainda de acordo com as autoras, apresenta algumas características fundamentais, das quais citamos: a) a importância de se considerar o contexto no qual o trabalho é desenvolvido de maneira a permitir um melhor entendimento do problema investigado; b) o uso variado de fontes de informações, de maneira que o pesquisador recorre a uma variedade de dados coletados em diferentes momentos e situações, dos quais poderá cruzar informações e assim confirmar ou rejeitar hipóteses, descobrir novos dados, afastar suposições ou levantar hipóteses alternativas; c) permitir a generalização de certas situações e resultados quando o sujeito propõe associações dos resultados obtidos com os dados decorrentes de sua experiência pessoal (LÜDKE e ANDRÉ, 2018, p.21-24)

O estudo de caso tem como característica essencial o conhecimento como algo em construção e, portanto, inacabado, de maneira que o pesquisador constantemente está buscando novas indagações e respostas no desenvolvimento do trabalho (LÜDKE e ANDRÉ, 2018).

Diante do exposto, nessa pesquisa a opção pela abordagem qualitativa de estudo de caso foi feita, pois buscamos novas respostas e indagações para os problemas associados ao processo de aprendizagem de equilíbrio químico sob a perspectiva da aprendizagem significativa e a importante contribuição da teoria dos modelos mentais.

Conforme já discutido, na literatura é possível encontrar diferentes problemas de aprendizagem sobre o conceito. Entretanto, o que a literatura apresenta são basicamente os problemas, já que a maior parte dos trabalhos se trata mesmo de um "relato" destes, mas ainda assim importantes.

Neste trabalho, no entanto, buscamos investigar os modelos mentais que os licenciandos estão construindo sobre a temática e também respostas que justifiquem tais construções, investigando e apresentando as possíveis causas que

afetam a construção de modelos mentais de equilíbrio químico, próximos aos modelos conceituais, que resultem na aprendizagem com maior caráter significativo para os alunos em questão.

Logo, a nossa proposta nesse trabalho é inédita. Somado a isso, utilizamos um instrumento em potencial para avaliação de modelos mentais, que é a animação no estilo *stop motion*, técnica que nunca foi utilizada com este objetivo, nas condições aqui propostas. Juntamente com essa ferramenta, utilizamos um questionário e a entrevista semi-estruturada, para que através do cruzamento dos dados obtidos por meio dessas diversas fontes de informações pudéssemos investigar profundamente os modelos desses discentes.

3.2.1 - Procedimentos éticos

A presente pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) através da plataforma Brasil para que pudesse passar pelo processo de avaliação e emissão do parecer que ocorreu de maneira favorável, sendo aprovada em 15 de junho de 2018, conforme CAAE 88168618.0.0000.5504 e parecer 2.714.944.

Antes de iniciar a etapa de coleta de dados, foram discutidos com os alunos os objetivos e a importância da pesquisa, bem como apresentado e assinado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), apresentado na forma de apêndice (Apêndice 1) pelos discentes e pela pesquisadora. Todos os indivíduos participantes foram devidamente informados que possuíam liberdade para suspender o consentimento sobre sua participação nessa pesquisa em qualquer momento e que não sofreriam de qualquer maneira algum tipo de exposição e/ou represália.

3.2.2 - Perfil dos discentes participantes

Conforme mencionado, os dados foram coletados durante a realização de um minicurso ministrado pela pesquisadora. Nesse minicurso foram discutidas algumas estratégias (experimentação, uso de animações e atividades lúdicas) para o processo de ensino de equilíbrio químico, sem, no entanto, discutir qualquer conceito relacionado a temática.

O curso foi oferecido aos discentes de uma universidade pública do estado de São Paulo e teve como critério para participação a necessidade de o discente ter obtido aprovação na disciplina de Química Geral II, que corresponde ao primeiro contato dele com o conceito de equilíbrio químico na graduação.

Um total de 14 discentes (nomeados A1, A2, A3 e assim por diante) de diferentes turmas (alunos do 3º, 6º e 10º semestre), constituíram os sujeitos de análise. O curso de licenciatura nessa IES é noturno, com algumas aulas ocorrendo no período da tarde e sábado de manhã, e tem duração de cinco anos, totalizando 10 semestres.

Segundo a grade curricular da universidade, o conceito de Equilíbrio Químico é diretamente trabalhado em quatro disciplinas teóricas: Química Geral II (QG II), Físico-Química I (FQ I), Química Analítica Qualitativa (QAQI) e Química Analítica Quantitativa (QAQt), além das correspondentes disciplinas de caráter prático.

Na Quadro 3.1 são apresentadas essas disciplinas teóricas que contemplam o conceito, bem como a respectiva situação de cada discente participante da pesquisa frente tais disciplinas.

O símbolo “√” indica aprovação em determinada disciplina, a letra “C” indica que o discente estava cursando determinada disciplina no momento da coleta de dados, e por fim o símbolo “-” indica que a disciplina ainda não havia sido cursada em nenhum momento.

Alunos	QG II	FQ I	QAQI	QAQt
A1	√	√	√	√
A2	√	√	√	-
A3	√	√	√	-
A4	√	√	√	√
A5	√	√	√	-
A6	√	C	-	-
A7	√	√	√	-
A8	√	C	-	-
A9	√	√	√	-
A10	√	C	-	-
A11	√	C	-	-
A12	√	√	√	-
A13	√	√	-	-
A14	√	√	-	-

QUADRO - 3. 1 Condição dos discentes participantes da pesquisa com relação as disciplinas cursadas. Fonte: AUTORA.

Como é possível observar no Quadro 3.1, no momento da coleta de dados A1 e A4 eram formandas. Sendo assim já haviam cursado todas as disciplinas nas quais o conteúdo é trabalho. Os discentes A2, A3, A5, A7, A9 e A12, estavam cursando o 6º semestre do curso, enquanto que A6, A8, A10 e A11 estavam cursando o 4º semestre do curso. A13 e A14 são alunos que estavam também matriculados no 6º semestre do curso de graduação, mas devido se tratarem de alunos vindos de transferência, justificamos as diferenças com relação as disciplinas já cursadas.

O conteúdo envolvendo o estudo de cinética química é contemplado na disciplina de Química Geral II e também na disciplina específica de Físico-Química II. Dentre os alunos, A1, A2, A3, A4, A5, A7, A9, A12 e A14 já haviam cursado essa disciplina e destes, apenas A14 não havia sido aprovado.

Com relação ao minicurso, cuja sequência didática é apresentada na forma de apêndice neste trabalho (Apêndice 4), ele foi proposto para realização da coleta de dados, mas também com o objetivo de permitir aos discentes de licenciatura, futuros professores, a identificação das principais dificuldades/limitações de seus modelos mentais sobre a temática, bem como as dificuldades no processo de ensino e aprendizagem sobre o Equilíbrio Químico.

Somado a isso, buscou-se permitir aos discentes reflexões acerca do uso de diferentes atividades (uso de animações, experimentação de baixo custo e atividades lúdicas) no processo de ensino do conceito. Todo o desenvolvimento das atividades foi realizado posteriormente a uma apresentação aos alunos sobre a importância do uso destas ferramentas no Ensino de Química, discutindo, de maneira geral, os benefícios e cuidados no emprego de tais ferramentas.

Assim, na sequência dessas discussões, foram entregues aos alunos os procedimentos experimentais, explicações sobre a elaboração das animações e os materiais do jogo, juntamente com as regras, para que os alunos executassem cada atividade e refletissem em grupo, para posterior discussão geral, das possíveis aplicações de tais ferramentas para o ensino de equilíbrio químico.

Isto é, os alunos, ao participarem ativamente das atividades, deveriam, com base em seus modelos mentais e, portanto, aprendizagem do conceito de equilíbrio químico, refletiram sobre possíveis utilizações (e limitações) em suas futuras práticas docentes de cada instrumento. No apêndice 4, há detalhes referentes a

sequência didática utilizada, o objetivo desta, bem como as atividades selecionadas da literatura, utilizadas durante o minicurso.

3.3 - Elaboração dos instrumentos de coleta de dados

Uma vez que a pesquisa envolvendo os modelos mentais é complexa devido não ser possível acessar diretamente os modelos mentais dos estudantes e de não podermos simplesmente perguntar ao indivíduo qual é seu modelo sobre um dado fenômeno, visto que ele pode não ter consciência de sua existência, faz-se necessário utilizar e combinar diferentes estratégias para coletas de dados que permitam o acesso indireto a esses modelos internos, por meio dos modelos expressos pelos estudantes (MOREIRA, 1996, 2011).

Sendo assim, neste trabalho foi proposta a elaboração e utilização de um questionário, de uma animação *stop motion* e de entrevista semi-estruturada como ferramentas de investigações dos modelos mentais sobre equilíbrio químico dos licenciandos. Todos esses instrumentos foram planejados visando o cruzamento de informações com a finalidade de esclarecer, confirmar ou refutar hipóteses que seriam levantadas nesse trabalho, evitando possíveis interpretações ambíguas, e também de aprofundar a investigação dos modelos mentais dos alunos.

O questionário (Apêndice 2) construído e utilizado na presente pesquisa é composto por sete questões referentes a aplicação e interpretação do conceito de equilíbrio químico e suas características em diferentes situações. A finalidade desse instrumento foi verificar a capacidade do licenciando em identificar e explicar tal conceito em suas diferentes formas de representação, exigindo para isso a existência de um modelo mental funcional resultante na compreensão significativa do fenômeno. Todas as figuras utilizadas no questionário foram elaboradas pela pesquisadora através do programa CorelDraw.

A maioria das questões são do tipo dissertativa e uma é de julgamento do tipo verdadeiro ou falso. Todas elas foram elaboradas a partir de uma pesquisa prévia em livros didáticos indicados como referência tanto para o nível de graduação, quanto para o ensino médio, bem como em questões de exames de pré-vestibular.

A finalidade dessa consulta foi buscar questões e/ou figuras que pudessem fazer parte do questionário ou servirem de inspiração para elaboração deste. Sempre que possível foram adicionados figuras e gráficos nas questões devido à importância destas para o levantamento dos modelos mentais sobre conceitos

químicos (GIBIN, 2010) e da finalidade proposta para o questionário, conforme já explicado.

O segundo instrumento de coleta de dados, a elaboração do *stop motion* (Apêndice 5), foi proposto com o objetivo de aprofundar a investigação sobre a aprendizagem dos alunos sobre o equilíbrio químico com foco no nível submicroscópico.

Isso porque a utilização de animações para o levantamento de modelos mentais de conceitos químicos nesse nível vem sendo defendida em alguns trabalhos desenvolvidos pelos autores GIBIN e FERREIRA (2009, 2010, 2013), como uma ferramenta adequada para realizar tal investigação. Isto porque as animações permitem que os discentes executem e demonstrem, através de modelos expressos, os modelos internos dinâmicos que possuem sobre determinado fenômeno, processo que talvez seja dificultado com o uso restrito de testes escritos ou orais.

Através desse instrumento, tivemos como objetivo comparar e inferir se as respostas fornecidas pelos discentes nos demais instrumentos foram baseadas na memorização de conceitos, sendo composta por simples repetições de frases e/ou utilização de fórmulas decoradas dando indícios de uma aprendizagem predominantemente mecânica, ou se foram articuladas, conectadas e compreendidas, indicando uma aprendizagem com maior caráter significativo.

O sistema escolhido para representação pelos discentes foi a reação de formação e decomposição do gás ozônio em condições isentas de poluição e interferentes. A escolha por esse sistema foi realizada devido se tratar de uma situação um tanto quanto diferenciada daquela comumente experimentada na graduação pelo discente, exigindo, para sua correta representação, a aplicação do modelo mental que o aprendiz construiu sobre o conceito de equilíbrio químico, principalmente no nível molecular, a esse sistema “novo”, de maneira a investigar a flexibilidade de aplicação de tal modelo.

Se trata de um sistema “novo” porque o equilíbrio em questão não é comumente discutido em sala pelos professores, e nem encontrado nos livros, quando o foco de estudo está no conceito de equilíbrio químico. Esse processo é comumente trabalhado no estudo cinético das reações e em discussões relacionadas a destruição da camada de ozônio, sem ser explorado como uma situação de equilíbrio químico que dependendo do período do dia (dia ou noite) estará sendo favorecido, em determinado sentido.

Tendo em vista a dificuldade já discutida em se trabalhar com investigações de modelos mentais, assim como a possibilidade dos discentes não conseguirem se expressar adequadamente através da forma escrita (questionário), buscamos utilizar além das animações, a entrevista semi-estruturada, pela possibilidade de os discentes conseguirem se expressar melhor oralmente.

Sendo assim, após a aplicação e a pré-análise dos dados obtidos através do questionário e da animação, foi planejado o roteiro da entrevista semi-estruturada (Apêndice 3) que teve como objetivo, além de permitir aos discentes expressarem seus modelos de forma oral, aprofundar ainda mais a investigação sobre os modelos mentais dos alunos referentes ao tema equilíbrio químico em alguns pontos nos quais o questionário e a animação não conseguiram elucidar e/ou se mostraram controversos, a fim de evitar possíveis análises ambíguas (LÜDKE e ANDRÉ, 2018).

A análise das falas registradas nas entrevistas foi realizada com base na literatura relacionada ao processo de aprendizagem do conceito de equilíbrio, para verificação da presença ou não de concepções alternativas sobre o fenômeno que já haviam sido amplamente discutidas. Também levou-se em consideração as argumentações, explicações e visões sobre os fenômenos expressas nos três níveis representacionais da química (e a relação entre estes) pelos discentes. A finalidade desta etapa era a de buscar evidências do uso de modelos mentais significativos ou mecânicos e de possíveis contradições, a partir do cruzamento das informações com os demais instrumentos.

Na sequência, serão apresentados os procedimentos metodológicos referentes a etapa de coleta de dados, discutindo em maiores detalhes como foi realizado esse processo.

3.3.1 - Procedimento de coleta dos dados

Toda estrutura, sequência didática (Apêndice 4) e as discussões realizadas no minicurso foram elaboradas e executadas tomando o cuidado de não influenciar na coleta das informações.

A sequência de coleta dos dados seguiu a mesma ordem de apresentação dos instrumentos realizada na seção anterior, iniciando pela aplicação do questionário, seguida da elaboração da animação pelos licenciandos, finalizando

com a realização da entrevista. Os dados foram coletados individualmente e sem a possibilidade de consultas. A descrição detalhada de cada etapa será feita a seguir.

Etapa 1. Aplicação do questionário: após a apresentação dos objetivos da pesquisa e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), foi entregue aos alunos o questionário juntamente com as devidas orientações referentes a não possibilidade de consultas, o esclarecimento da importância e seriedade na obtenção de dados sinceros e que nenhuma dúvida seria esclarecida naquele momento, mas que havia um momento futuro reservado para correção/retirada de dúvidas e esclarecimentos sobre cada uma das questões.

Toda a indagação, manifestação e comportamento dos alunos foram anotadas no diário de campo e fizeram parte desse primeiro instrumento. A duração dessa etapa foi de cerca de 2 horas e 30 minutos.

Etapa 2. Elaboração das animações: essa etapa foi subdividida em três momentos importantes, resumidos na Figura 3.1, que foram realizados em dois dias.

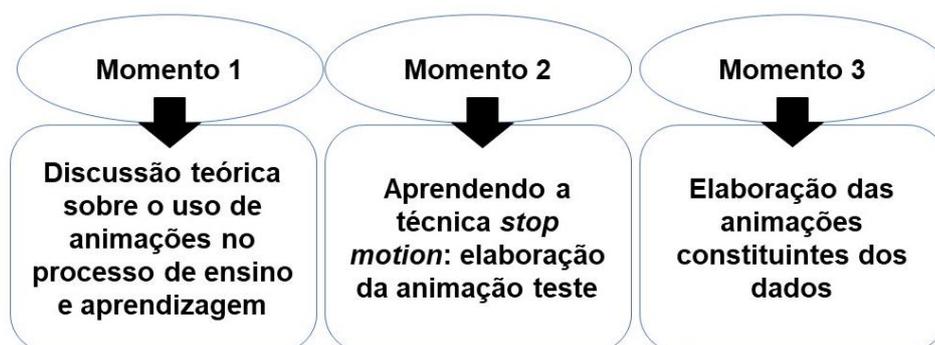


FIGURA 3.1 - Etapas envolvidas na coleta de dados a partir do segundo instrumento (*stop motion*). Fonte: AUTORA.

De acordo com a Figura 3.1, é possível observar que previamente à elaboração das animações que constituíram os dados para essa pesquisa, os alunos participaram de um momento no qual puderam aprender a técnica de *stop motion* (elaboração de uma animação teste) e também passaram por um momento de discussão teórica, baseada em artigos, sobre o uso de animações no processo de ensino e aprendizagem de química.

O terceiro momento, que ocorreu em um encontro posterior a esse último, os alunos elaboraram as animações que constituíram parte importante dos dados coletados para análise de seus modelos mentais de equilíbrio químico.

Conforme discutido, o sistema escolhido para representação pelos discentes corresponde ao equilíbrio químico de formação e decomposição dos gases

oxigênio e ozônio, nas condições já explicadas anteriormente. Previamente a elaboração dos filmes, foi dedicado um momento para discussão com os alunos das semi-reações envolvidas nesse processo, bem como da importância da radiação solar (UVC e UVB), conforme as equações apresentadas na Figura 3.2.

A maneira pela qual as equações estão apresentadas na Figura 3.2, corresponde exatamente a forma em que foram discutidas com os alunos. Em nenhum momento dessa discussão foram utilizados termos relacionados ao equilíbrio químico, apesar das setas duplas indicarem isso, pois a ideia foi interferir o menos possível na coleta dos dados.

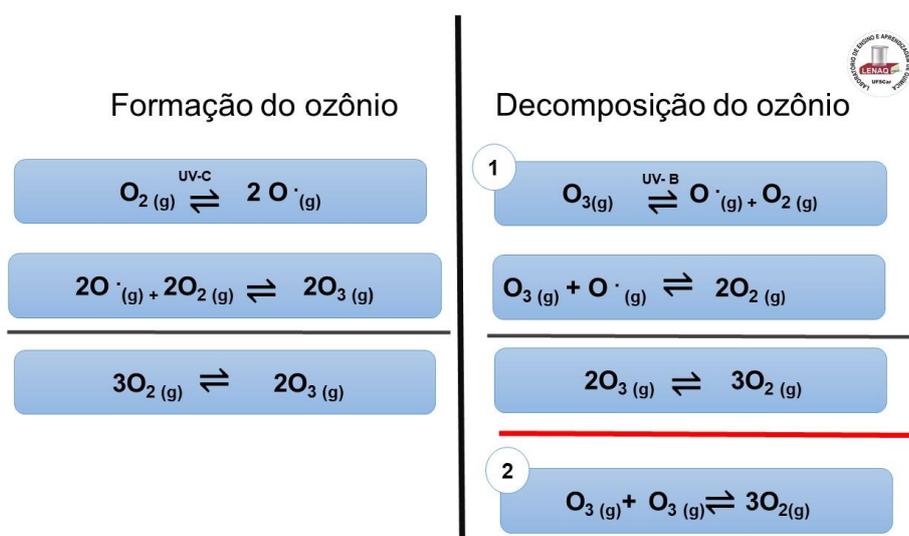


FIGURA 3. 2 - Semi-reações de formação e decomposição do gás ozônio apresentadas e discutidas com os discentes no minicurso, antes da elaboração das animações.

Na sequência, foi entregue aos alunos o kit *stop motion* de baixo custo construído pela pesquisadora (Apêndice 5). Esse kit é constituído de um suporte para prender o celular elaborado com canos do tipo PVC, de figuras das espécies químicas envolvidas (O_2 , O_3 e $O\cdot$) elaboradas no CorelDraw e dos cenários do filme.

Na sequência, os alunos foram orientados a considerar no meio reacional apenas as espécies envolvidas nas semi-reações apresentadas, considerando um ambiente livre de poluição e interferentes, além de considerarem uma situação hipotética de mudança brusca de dia para noite. Por fim, os alunos foram orientados a gravar em áudios os critérios utilizados para elaboração de cada animação e as principais dificuldades encontradas.

Assim, os alunos foram orientados a representar, através de animações, como visualizavam o sistema formado pelos gases ozônio e oxigênio, durante o dia e durante a noite.

Todas as animações foram elaboradas e editadas pelos próprios licenciandos através do uso do aplicativo PiPac *Stop Motion* disponível para download gratuito para celulares com o sistema operacional Android. Alguns alunos, entretanto, optaram por editar as imagens e produzir as animações através do uso do software Windows Movie Maker. Os áudios explicativos foram gravados e enviados via WhatsApp para a pesquisadora.

Após a finalização e envio das animações juntamente com as explicações dos discentes, foi apresentada aos alunos uma animação elaborada pela pesquisadora e, discutidas as características que evidenciam o estado de equilíbrio químico em questão (núcleo do modelo), além dos critérios que foram levados em consideração para o planejamento e execução do filme.

As características em questão são: coexistência, simulação das velocidades iguais através da quebra concomitante de moléculas de reagentes e produtos, concentrações constantes por meio da manutenção da quantidade de cada espécie no sistema, e favorecimento reacional em detrimento da variação da temperatura e radiação solar na animação diurna e noturna.

Toda essa etapa durou cerca de 3 horas e 30 minutos. As indagações e comentários dos alunos foram registradas no caderno de campo e utilizadas como parte da coleta de dados. Assim, a utilização das animações, em conjunto das explicações gravadas pelos alunos, se tornou um importante instrumento, complementar aos demais para levantamento dos modelos mentais dos alunos e para verificação da aprendizagem significativa, com foco principal no nível submicroscópico.

Etapas 3. Realização da entrevista: todas as entrevistas, com exceção de 3 que foram realizadas via Skype, foram individualmente realizadas na biblioteca da universidade. Todos os diálogos foram gravados e tiveram transcrição literal para posterior tratamento e análise. A orientação fornecida aos alunos no início da entrevista foi a de que expressassem, seja na forma oral ou através de representações ou desenhos, tudo o que viesse em suas mentes ao ouvir cada uma das 7 questões componentes da entrevista, ou seja, que pensassem em voz alta (SOUZA, 2013).

Basicamente as entrevistas foram realizadas utilizando-se apenas as questões que constam no roteiro (Apêndice 2) e tiveram em média a duração de 40 minutos.

3.4 - Tratamento e análise dos dados

Para a análise dos dados, foram previamente definidos alguns elementos norteadores, divididos em duas categorias, de acordo com o grau de complexidade apresentado, sendo elas: 1) elementos de baixa complexidade: correspondente a conceitos aplicáveis a quaisquer transformações químicas, como movimentação, interação e choques efetivos e não efetivos das espécies no sistema; e 2) elementos de alta complexidade: correspondentes a conceitos aplicáveis exclusivamente à temática (núcleo do modelo), como coexistência das espécies, velocidades iguais, concentração constante e favorecimento reacional.

Logo, as análises foram realizadas levando-se em consideração tais elementos que, foram analisados com base nos pressupostos da teoria da aprendizagem significativa proposta por AUSUBEL et al. (1980) e da teoria dos modelos mentais proposta por JOHNSON-LAIRD (1983), investigando as argumentações e representações dos discentes nos três níveis representacionais, conforme já discutido.

A partir desses critérios, os dados foram tratados e analisados por meio da Análise Textual Discursiva que, inserida no movimento da pesquisa qualitativa tem como objetivo, segundo MORAES e GALIAZZI (2016, p.33) a “compreensão e a reconstrução de conhecimentos existentes sobre os temas investigados”, a partir de leituras aprofundadas e rigorosas de um conjunto de textos que constituem o corpus da pesquisa. Nas palavras dos autores:

[...] ATD é um processo integrado de análise e de síntese que se propõe a fazer uma leitura rigorosa e aprofundada de conjuntos de materiais textuais, com o objetivo de descrevê-los e interpretá-los no sentido de atingir uma compreensão mais complexa dos fenômenos e dos discursos a partir dos quais foram produzidos. (MORAES e GALIAZZI, 2016, p. 136).

O processo de análise baseada da ATD constitui-se em três etapas: a unitarização, categorização e produção de metatexto. A primeira etapa se refere a um processo de desmontagem dos textos, consistindo na análise destes em seus detalhes, a fim de fragmentá-lo no sentido da produção de unidades constituintes referentes aos fenômenos em estudo.

A segunda, está relacionada ao estabelecimento de relações entre tais unidades bases emergentes da etapa anterior, de maneira a combiná-las,

classificando-as em conjuntos que compartilham de elementos próximos, resultando nos sistemas de categorias.

Por fim, a última etapa consiste na produção do metatexto, que os autores denominam de “captação do novo emergente”, se referindo ao processo de emergência de uma renovada compreensão do todo, resultante dos produtos da análise. Portanto, como produto da ATD têm-se o metatexto, que organiza e apresenta as principais interpretações e compreensões construídas a partir do conjunto de textos submetidos à análise.

Sendo assim, a primeira etapa constituiu uma leitura inicial para seleção dos dados de cada instrumento para comporem o corpus da pesquisa. Na sequência, os fragmentos de cada instrumento, para cada discente e elemento analisado, foram organizados em quadros para que pudessem ser estabelecidas relações entre eles e assim resultar no processo de categorização. Por fim, a partir dessa categorização e a luz dos referenciais adotados nessa pesquisa, foi elaborado o metatexto que será apresentado no próximo capítulo.

O sistema de codificação criado e adotado nesse trabalho consiste numa combinação de letras e números, seguindo a seguinte lógica: cada discente recebeu um código que inicia com a letra “A”, seguida de um número utilizado para diferenciar os licenciandos (A1 até A14); cada instrumento foi codificado iniciando com uma letra (Q = questionário e E = entrevista). Na frente de cada letra (Q ou E) é representada a questão, seguida da alternativa (caso a questão apresente alternativas) correspondente, por exemplo o código E5a, corresponde a manifestação do determinado discente na entrevista, e em específico na questão de número 5, na alternativa “a”.

Sendo assim, os recortes das falas dos discentes que foram utilizados para categorização serão apresentados através da especificação do instrumento, da questão, da alternativa (quando houver), seguida da identificação do discente. Utilizando o exemplo anterior, o código E5aA6 corresponde a uma manifestação do discente A6 naquela situação descrita no parágrafo anterior.

Explicado o sistema de codificação adotado, os próximos capítulos (4 e 5) serão dedicados a apresentação e discussão dos resultados obtidos nesse trabalho.

Capítulo 4 – Resultados e discussões: modelos mentais para o conceito de equilíbrio químico.

No presente capítulo serão apresentados e discutidos os principais resultados obtidos a partir da análise dos dados coletados. Entretanto, resalto nesse momento que os modelos dos alunos foram analisados a partir do cruzamento das informações coletadas nos três instrumentos, entretanto, devido as respostas curtas e gerais comumente obtidas durante o questionário, cuja pré-análise norteou a criação dos demais instrumentos, justifico o fato das discussões a serem apresentadas a seguir com maior predominância dos dados obtidos durante a animação e entrevista.

Também esclarecemos que alguns cortes de falas dos discentes são apresentados entre aspas em itálico, quando apresentados dentro de discussões realizadas em determinados parágrafos, sendo essa formatação exclusiva para evidenciar as falas dos discentes a partir da próxima seção. Nesses casos, informamos que não explicitamos através da codificação discutida anteriormente as questões de onde foram retiradas, pois em algumas vezes correspondem a trechos de diferentes questões, mas informamos os instrumentos.

4.1 - Categorização dos modelos mentais dos estudantes

A partir do cruzamento da análise dos dados obtidos nos três instrumentos de coleta, foi realizada a categorização dos modelos mentais expressos pelos discentes apresentada no Quadro 4.1, juntamente com as considerações e hipótese construídas para cada modelo, e os discentes representantes de cada uma das categorias.

MODELO	CONSIDERAÇÕES	DISCENTES
Mecânico	Constituído basicamente por elementos de baixa complexidade, envolvendo conceitos soltos, desconexos, simplistas e pouco abstratos, baseado na interpretação simbólica e/ou macroscópica do fenômeno devido a não existência de modelos subsunçores bem desenvolvidos e importantes para a aprendizagem. Isto resulta na dificuldade em explicar o conceito e considerar suas características, sendo a aprendizagem predominantemente mecânica.	A1, A3 A6, A7, A8, A9, A10, A11, A13, A14
Parcialmente significativo	Constituído por elementos de baixa complexidade e também pela presença, mesmo que em maior parte mecânica, dos de alta complexidade. A existência de modelos subsunçores parcialmente desenvolvidos no nível molecular, dotados de visualizações simplistas envolvendo fatores cinéticos básicos,	A2, A4

	mesmo que limitada, possibilitou a construção de um modelo capaz de permitir compreensão razoável sobre o tema, inclusive no nível atômico, com a inclusão de algumas características equivocadas e/ou memorizadas.	
Significativo próximo ao conceitual	Mais se aproxima do modelo conceitual e construído a partir da ancoragem em bons modelos mentais prévios, constituídos por elementos de baixa e de alta complexidade conectados. O sujeito apresenta boa compreensão do conceito nos diferentes níveis representacionais (e suas relações) acompanhadas de explicações envolvendo relações de “causa–efeito” e flexibilidade considerável de aplicação às diferentes situações apresentadas.	A5, A12

QUADRO 4. 1 - Categorização dos modelos mentais para o conceito de equilíbrio químico construído pelos discentes investigados. Fonte: AUTORA.

Como já discutido, a formação dos modelos mentais e o processo de aprendizagem, segundo os referenciais teóricos adotados nesse trabalho, é de natureza idiossincrática, logo cada um é único e apresenta suas próprias características e particularidades, mas com base naqueles elementos pré-definidos foram categorizados.

Levando-se em consideração essa individualidade, nas próximas seções desse capítulo serão apresentados e discutidos os modelos mentais analisados de cada um dos discentes de forma categorizada, ou seja, para cada categoria será discutido o modelo, de forma individual, de seus integrantes com o objetivo de evidenciar as particularidades de cada um e também as semelhanças que resultaram na classificação proposta nesse trabalho.

Sendo assim, serão apresentados nesse texto os dados já analisados e categorizados, reorganizados e discutidos com base nas hipóteses levantadas e agrupadas para cada uma das três categorias criadas.

Após as discussões referentes aos modelos mentais construídos pelos discentes, será apresentada discussão relacionada a maneira pela qual eles compreendem o favorecimento reacional e, por fim, serão apresentadas algumas considerações referentes ao processo de aprendizagem desse conceito na graduação, na concepção desses graduandos e em comparação com a literatura.

4.2 - Modelo mecânico

a) Modelo mental de A1:

A discente A1 associou em diferentes momentos o conceito a suscetibilidade do sistema em sofrer ação do meio externo, sendo o termo deslocamento, segundo ela, a primeira coisa que costuma pensar ao ouvir a expressão equilíbrio químico. É possível, segundo a discente “*modificar a produção, deslocando pra ter mais de produto ou mais de reagente*”, interpretando a equação genérica do tipo $A + B \rightleftharpoons C + D$ como “*uma reação de equilíbrio, que pode ser deslocada tanto pra C e D quanto pra A e B*”.

As definições para o conceito de equilíbrio químico fornecidas por 19% dos licenciandos de uma universidade do estado de Minas Gerais investigados por JÚNIOR e SILVA (2009) também se mostraram atreladas ao princípio de Le Chatelier.

Ao externalizar de maneira espontânea o que vinha em sua mente sobre equilíbrio químico a licencianda não se referiu aos elementos de alta complexidade. Ela apenas mencionou tais características quando diretamente solicitado que descrevesse o fenômeno, dizendo então pensar em “*concentração constante, tanto dos reagentes como dos produtos*”, utilizando como justificativa, a igualdade das velocidades.

A licencianda pareceu ter incorporado em seu modelo mental que no equilíbrio químico as concentrações não variam e as velocidades dos processos direto e inverso são iguais. No entanto, nossos dados revelaram que essa concepção de igualdade das velocidades não está relacionada a simultaneidade do processo pois, segundo A1, o “*equilíbrio químico é dinâmico*” de maneira que essa dinamicidade é perdida se os processos acontecerem ao mesmo tempo.

Em concordância com essa afirmação, sua animação (Figura 4.1) revelou a concepção de equilíbrio químico como um estado que vai e volta, no qual há primeiro a formação de produtos seguida da decomposição destes para posterior formação dos reagentes, sendo representado pela licencianda primeiramente os processos de formação do gás ozônio (reação direta) seguida de sua decomposição para formação do gás oxigênio (reação inversa).

A análise da animação de A1 também permitiu observar que a discente não considerou em nenhum momento a coexistência das espécies, tampouco o favorecimento reacional. Na realidade, sua animação, assim como as dos demais discentes pertencentes a essa categoria (com exceção de A14), se assemelhou a uma tentativa de demonstrar o mecanismo reacional no nível submicroscópico, seguindo todas as etapas reacionais de maneira isolada.

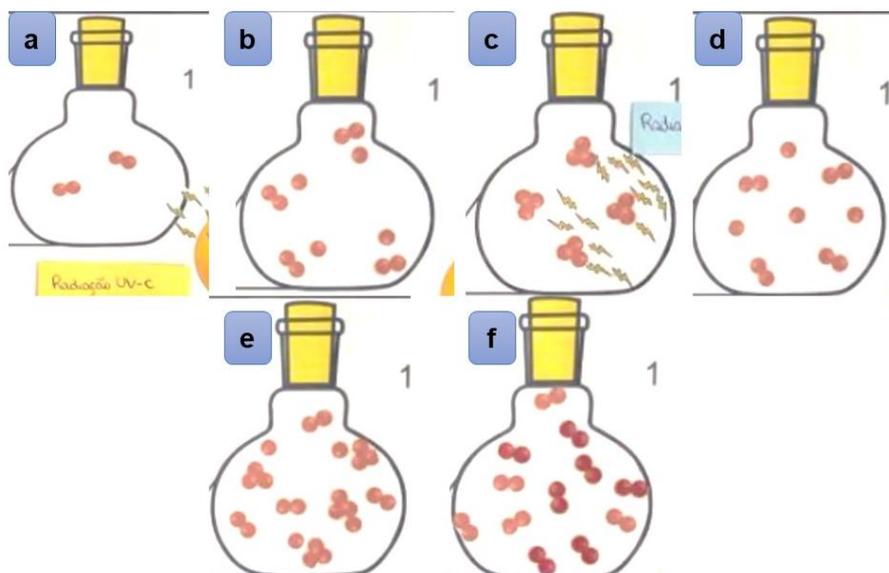


FIGURA 4. 1 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna da discente A1.

Na entrevista a discente não expressou verbalmente o elemento coexistência, nem mesmo ao analisar os gráficos das concentrações e velocidades pelo tempo. O único momento em que fez certa referência a tal característica foi na forma de desenho, entretanto, devido as discussões aqui apresentadas, essa representação parece estar atrelada a uma tentativa de representar em 1 única figura estática que haverá reagentes e produtos no meio reacional, mas que isso não necessariamente ocorrerá ao mesmo tempo, pois sua concepção de processos não simultâneos acaba dificultando tal compreensão. Em sua animação não foi observado o favorecimento reacional.

Com relação ao fato das concentrações serem constantes, tal elemento foi observado nas manifestações da discente em três momentos, dois durante a entrevista e um no questionário.

O primeiro, na entrevista, ocorreu naquela fala apresentada anteriormente quando associou esse elemento como consequência de as velocidades serem iguais. O segundo foi ao analisar os gráficos das concentrações e velocidades pelo tempo, evidenciando nesses gráficos o estado de equilíbrio:

“Ah eles todos **têm a questão do equilíbrio**, o ponto em que eu alcanço o **equilíbrio**... só que aqui tá falando da velocidade, que a velocidade se igualam e ali que a concentrações não variam”. (E3a, bA1, grifo nosso).

No entanto, ela não mencionou a coexistência. O terceiro momento que a discente se referiu ao fato das concentrações se manterem constantes foi no questionário quando utilizou essa característica do estado de equilíbrio químico para diferenciar dois sistemas, chegando a coerente conclusão de que:

“Somente o sistema 1 atingiu o estado de equilíbrio, pois as concentrações de B e C permaneceram constantes no T4 e T5. A figura 2 não alcançou o equilíbrio pois as concentrações não permaneceram constantes.” (Q3A1, grifo nosso).

Entretanto, ambas situações não se referem a considerações espontâneas desse elemento, não sendo possível afirmar se a discente memorizou ou não tal elemento.

A leitura superficial dos gráficos proposta pela licencianda durante a entrevista, em concordância com sua resposta à questão de número 1 do questionário, sugerem a memorização do perfil das curvas, pois ela considerou que apenas os gráficos de número 1 a 4, correspondente aos gráficos comumente estudados na graduação e presentes em livros, poderiam representar possíveis sistemas em equilíbrio químico.

Durante a etapa de coleta de dados A1 não propôs explicações para o estado de equilíbrio químico que incluísse a visualização do fenômeno no nível submicroscópico e nem macroscópico.

No entanto, ela revelou um forte apego ao nível simbólico que pareceu ser consequência de sua concepção prévia do conceito de reação química, o qual associa a transformação e mudança, utilizando-se de uma analogia para explicar essa sua concepção em que imagina *“produtos, reagentes, transformação, mudança... mudança do estado inicial pro final, eu normalmente quando falo em reação química eu falo de peça de lego que você pega monta e desmonta”*.

Apenas quando diretamente questionada sobre quais seriam os fatores necessários para que essa transformação imaginada por ela ocorresse a discente mencionou, ainda que de forma generalizada, que seria necessário haver condições favoráveis, justificando que *“certas reações não acontecem se não tiver pressão que necessita, presença de catalisadores”*.

Logo, conforme é possível observar, suas respostas revelaram uma compreensão simplista do fenômeno, sem inclusão de fatores cinéticos e

termodinâmicos básicos, além de não permitirem verificar sua compreensão no nível atômico.

Com relação a esse último fator, A1 revelou que quando pensa no conceito de reação química, costuma fazê-lo no nível simbólico e frequentemente relatou raciocinar sobre os fenômenos químicos nesse nível representacional, inclusive justificou ser este o único nível acessível para demonstração e exemplos em sala de aula, dizendo “(...) *é sempre simbólico... é muito difícil você associar, até exemplos em sala de aula, que exemplo você tem?! Simbólico... a reação*”.

O fato da discente não conseguir responder à questão de número 2 do questionário, expressando verbalmente que não sabia analisá-la, colabora para a hipótese de que apresenta dificuldades em visualizar o fenômeno de reação química no nível atômico e de considerar a ocorrência dinâmica de interações, através de choques efetivos e também não efetivos entre todas as espécies, seja em uma reação do tipo reversível ou não.

A1 já atuava como professora na rede básica e revelou que no momento da coleta de dados estava ministrando o conceito de equilíbrio químico para os seus alunos e que, portanto, estava estudando o conteúdo para lecionar.

Nessas condições, apesar da discente ter mencionado em alguns momentos os elementos concentração constante e velocidades iguais, foi categorizada como modelo mecânico devido à dificuldade e não flexibilidade de aplicação desses conceitos, estando restrita ao discurso, sugerindo a memorização e consequente lembrança de tais elementos por estar lendo e estudando sobre o conceito naquele momento da coleta de dados.

Além disso, a discente revelou sua frustração sobre a dificuldade em compreender e explicar o equilíbrio químico, utilizando em diferentes momentos expressões do tipo “às vezes eu queria voltar para a graduação”, “eu nem lembro isso direito”, “eu aprendi dando aula, e aprendi daquele jeito” e “depois de fazer seu minicurso eu me senti uma bost*, porque eu pensei, como eu dou aula disso e sou mó pangona”.

Essas falas relatam o desapontamento da discente com relação à sua formação inicial, comumente observada em alunos em etapa de conclusão de curso, que costumam ter a sensação de estarem se formando, mas sem saber nada ou muito pouco sobre sua futura área de atuação.

b) Modelo mental de A3:

De acordo com os dados coletados através dos três instrumentos de pesquisa, a discente A3 apresentou uma concepção memorizada e simplista do conceito de equilíbrio químico e de alguns fatores relacionados à ocorrência de uma transformação, como evidenciado, por exemplo no seguinte trecho da entrevista:

“A **velocidade que vai é a velocidade que volta** da reação, **que decora, né?! É muito difícil de imaginar...** ah, tem que ter impedimento, fator estérico, coisas assim pra ela começar a se juntar, **depois que ela se junta** (espécies reagentes) pra mim **já foi pro equilíbrio químico direto** (risos).” (E1dA3, grifo nosso).

Em sua fala A3 declarou possuir dificuldades em imaginar o fenômeno, tendo mais facilidade em visualizar “*mais o começo da reação, que foi o que mais aprendi*” e que é comum a qualquer transformação química, pois consideramos o início reacional no tempo zero (t_0) com a presença apenas de reagentes no meio reacional.

Essa fala também indica, em concordância com os demais instrumentos, a dificuldade da discente em imaginar a dinamicidade interacional do estado de equilíbrio químico, não incluindo em sua compreensão uma visão submicroscópica do fenômeno, nem a inclusão de fatores cinéticos, além do uso incorreto do termo “juntar”, para se referir às interações e choques entre as espécies.

Seu modelo subsunçor de reação química também se demonstrou pouco desenvolvido, e assim como nas falas de A1, também foram observados o uso de conceitos memorizados ao externalizar o que vinha em sua mente sobre esse processo de transformação:

“(…) várias **bolinhas se chocando e dando outras coisas...** os átomos têm que ter afinidade entre si, eles têm que tá numa aproximação certa, numa velocidade certa, coisas assim... **essas definições pegam, né?! Ah...** interação entre átomos gerando moléculas, gerando junções, gerando... como posso falar? Gerando elementos diferentes, elementos diferentes não... moléculas, enfim.” (E1a,bA3, grifo nosso).

Conforme é possível observar, A3 precisa recorrer a memorização de definições e sua visão prévia também não envolveu uma discussão no nível atômico,

sendo esta, segundo a discente, uma prática comum, pois quando tenta pensar em tal nível imagina “*tudo em bolinha, mas não é algo muito definido, específico*”.

Sendo assim, essa sua visão prévia pouco abstrata parece ter influenciado sua compreensão no nível molecular do estado de equilíbrio, que se resumiu na compreensão predominantemente baseada no discurso de que quando as espécies “*entraram em equilíbrio tem um pouquinho de cada, reagente e produto, mas a mais que isso só se falar mesmo, mas eu não penso neles interagindo (...)*”.

A análise de sua animação (Figura 4.2), em concordância com as falas já apresentadas de A3 durante a entrevista, sugeriu que a compreensão da coexistência das espécies por parte da licencianda também é problemática pois ela não a representou em nenhum momento durante o filme.

Somado a isso, ela verbalmente se referiu a esse elemento de maneira memorizada, através do uso constante de expressões do tipo “*ah, lembrei do negócio do equilíbrio químico, que tem um pouquinho de cada*”, remetendo a possível aceitação dessa característica. Em sua animação também não foi observado o favorecimento reacional.

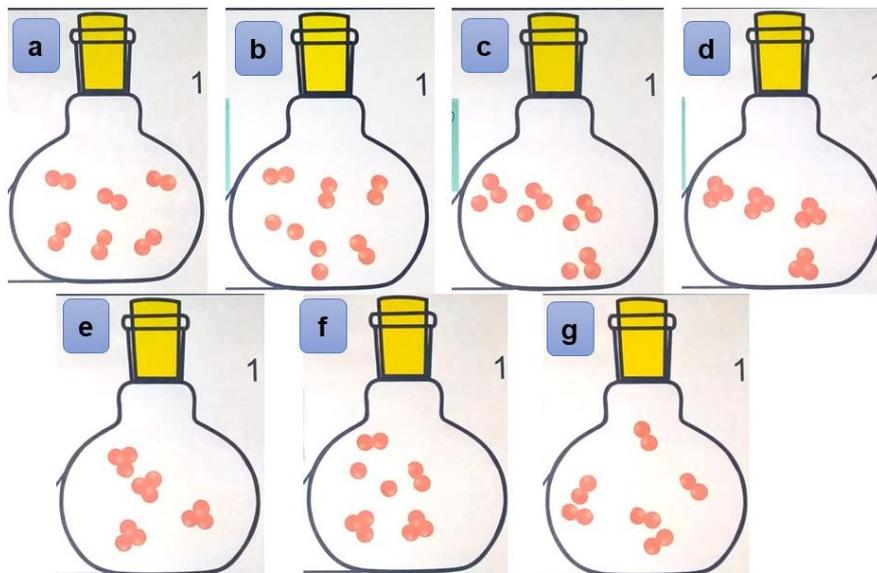


FIGURA 4. 2 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna da discente A3.

Com relação ao fato das concentrações se manterem constantes, A3 apenas mencionou tal elemento ao analisar os gráficos que relacionam as concentrações e as velocidades das espécies pelo tempo, e isso ocorreu através de leituras superficiais, apenas dizendo que a concentração de reagentes diminuía e a

de produtos aumentava, chegando ao equilíbrio químico com concentrações constantes e velocidades iguais. Segundo a graduanda, “(...) ali (onde as curvas se transformam em retas contínuas) as concentrações estão constantes, aí eles se encontram na mesma velocidade, tanto a formação quanto o consumo”.

Esse foi o único momento em que a discente se referiu ao fato das velocidades serem iguais. Ainda com relação as concentrações permanecerem constantes, no questionário A3 usou dessa informação para corretamente responder à questão de número 3, segundo a discente, “o sistema da figura 1 apenas atingiu o equilíbrio químico, pois manteve constante a quantidade de esferas azuis e verdes nos últimos tempos, o que não ocorreu na figura 2.”

Entretanto, não se tratou de situações em que espontaneamente a graduanda mencionou tal elemento, podendo este ter sido recordado ao se deparar com cada uma dessas situações.

c) Modelo mental de A6:

A concepção de equilíbrio químico expressa pelo discente A6 se demonstrou confusa e associada a um estado reacional estável em que:

“(…) dentro das **proporções da reação** ela **tá acontecendo** tanto dos produtos e dos reagentes, **esse equilíbrio, essa estabilidade** entre **formação de produto e de formação de reagente.**” (E1dA6, grifo nosso)

A terminologia “estabilidade” foi empregada pelo discente nesse contexto para indicar que reações que acontecem em ambos os sentidos, de maneira que quando essa estabilidade é atingida, a reação alcança um estado no qual não é mais possível distinguir reagentes e produtos, envolvendo uma espécie de arranjo entre as espécies e que pode sofrer alteração dependendo de alguns fatores:

“(…) é um ponto de **acomodação/interação** que **não se define produto e reagente**, mas sim um **arranjo entre eles** e dependendo das suas condições você pode deslocar para favorecer um ou outro.” (E1dA6, grifo nosso).

Nessa condição de “acomodação/interação” sugerida pelo discente, os átomos constituintes das moléculas de produtos e de reagentes se separam e novamente se unem, em suas palavras “seria essa aqui (molécula de reagente e

produto) se rompendo e se unindo de novo". Em outras palavras, se trata de um estado em que não ocorrem mais transformações, mas as espécies se separam e se unem.

Suas argumentações revelam que sua compreensão do conceito é confusa e apresenta a concepção alternativa de estado estático. Essa hipótese é reforçada com base na seguinte resposta do discente dada à questão de número 2 do questionário, na qual exigia a interpretação da possibilidade de ocorrência dos choques efetivos e não efetivos entre todas as espécies (reagentes e produtos) no estado inicial (figura 1) e no estado de equilíbrio (figura 2) para uma reação genérica, dizendo que *"a figura 2 estará bem representada se estiver relacionando o choque durante o processo até atingir o equilíbrio (...)"*.

Logo, de acordo com tal justificativa em comparação com as demais já apresentadas, A6 parece considerar que ao atingir o estado de equilíbrio químico, não ocorrem mais os choques entre as espécies, resposta concordante com aquela concepção observada durante a entrevista na qual as espécies apenas ficam se separando e se unindo. Entretanto, essas afirmações são discordantes de sua animação, pois nela são representadas as transformações direta e inversa não simultâneas, como melhor será discutido mais adiante.

Em suas explicações o discente não revelou uma visão do fenômeno no nível molecular, assim como não o fez para o conceito de reação química, que se mostrou associado ao nível macroscópico com a inclusão de expressões e termos que pareceram ter sido memorizados devido serem mencionados conforme ia se lembrando:

"(...) natureza, cotidiano, reação química... nossa... **nossa difícil** (risos) mas, a envolve tudo, né? Reação química é tudo [...] é... a reação química é a base de tudo, então... **mudanças de cor, formação de algum precipitado**, esse tipo de coisa(...)" (E1aA6, grifo nosso).

Durante sua explanação o discente também não mencionou os fatores cinéticos básicos, como a movimentação, e ocorrência de choques efetivos e não efetivos entre as espécies como sendo um critério importante para ocorrência de uma reação química.

Essa sua visão prévia simplista parece ter afetado a compreensão no nível submicroscópico do conceito de equilíbrio químico dinâmico pois A6 apresentou muitas dificuldades em tentar representar esse estado em todo o minicurso, expressando verbalmente em diferentes momentos achar *"bem complexo"*, *"difícil*

fazer isso” e “nunca pensei nisso”, ao tentar propor desenhos, representações ou mesmo explicações para os fenômenos nesse nível representacional.

Com relação ao fato das velocidades serem iguais, o discente apenas mencionou tal expressão ao interpretar o gráfico das velocidades pelo tempo, entretanto, em mais nenhum outro momento da entrevista, assim como não o fez no questionário e nem na animação. O discente também não usou de termos ou expressões que remetesse a essa ideia.

Com relação a análise gráfica, o licenciando apenas propôs leituras superficiais durante a entrevista, se limitando a dizer se tratar de um “*gráfico de equilíbrio, concentração de B diminui conforme o tempo e a concentração de A aumenta conforme o tempo até atingir o equilíbrio*”, para o gráfico das concentrações.

Com relação ao gráfico das velocidades, disse que “*(...) a velocidade de B aumenta conforme o tempo e a velocidade de A diminuiria conforme o tempo, até um determinado... tempo elas têm a mesma velocidade de reação, pode ser o equilíbrio também*”.

A animação (Figuras 4.3 e 4.4) elaborada pelo licenciando revelou a concepção de estado de equilíbrio químico como uma situação reversível, mas não simultânea.

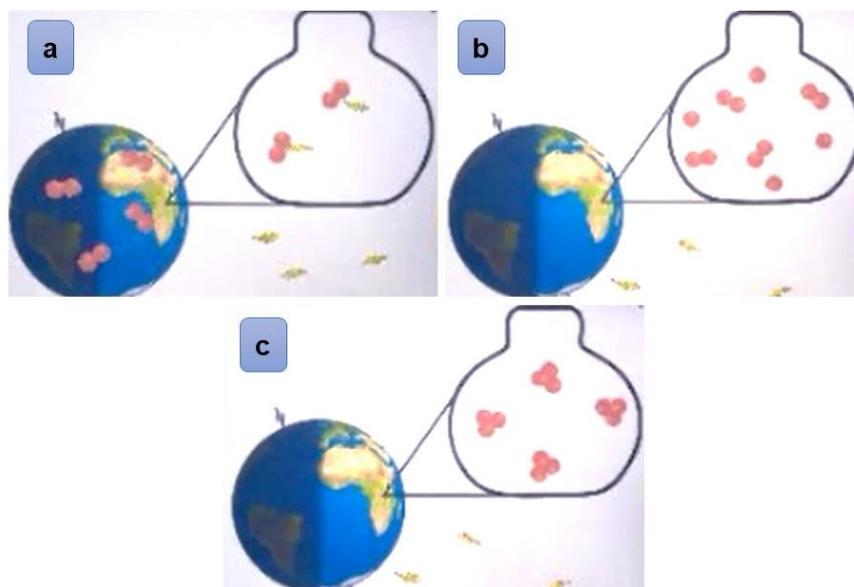


FIGURA 4. 3 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna do discente A6.

Na sua animação em nenhum momento o discente representou a coexistência das espécies nem o favorecimento reacional, sua animação se

assemelhou a uma representação das etapas reacionais no nível submicroscópico da reação direta (Figura 4.3) e da reação inversa (Figura 4.4), evidenciando a contradição sobre aquela consideração de sistema em que não ocorrem mais transformações, discutida anteriormente.

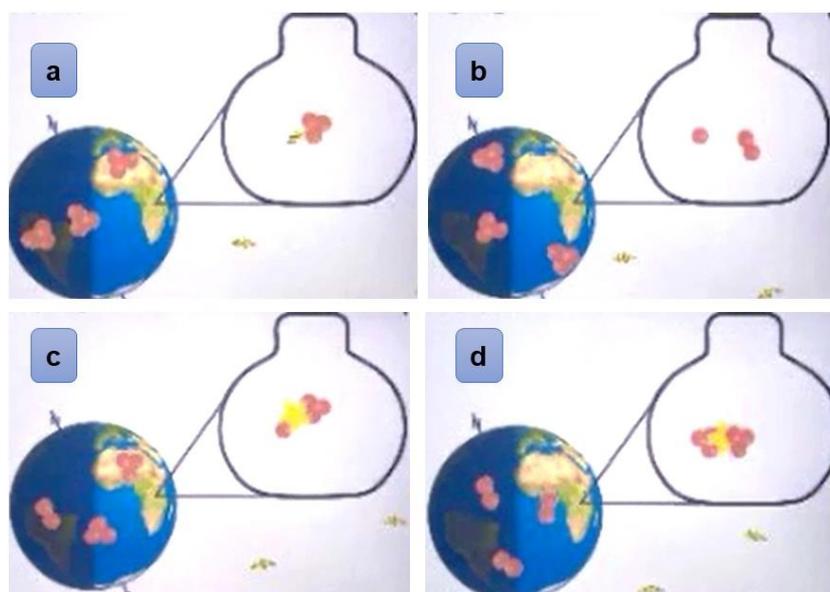


FIGURA 4. 4 - Continuação da sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna do discente A6.

Na entrevista, ainda com relação a coexistência das espécies, ao revelar aquela concepção de estabilidade entre reagentes e produtos o discente acabou se referindo a uma possível coexistência entre as espécies, de maneira que “os *produtos e os reagentes... eles de certa forma estariam meio que coexistindo*”. No entanto, essa fala, em concordância com sua animação, sugere uma possível memorização desse elemento.

Já com relação ao fato das concentrações se manterem constantes, apenas em um momento, no questionário, o licenciando se referiu ao elemento, concluindo que “na figura 1, a partir de t_4 e t_5 não há mudanças na concentração de bolinhas verdes e azuis. O que pode se observar então é um equilíbrio em termos de $[]$ e $t (...)$ ”. Entretanto, novamente temos uma situação não espontânea, conforme já discutido para as discentes A1 e A3.

d) Modelo mental de A7:

A licencianda A7 ao externalizar sua concepção de equilíbrio também revelou uma visão simplista e puramente macroscópica do sistema, ao qual se referiu a um estado no qual:

“(…) a gente **não vê mais mudança** é como se a reação tivesse parada, mas ela não tá parada, porque **a gente sabe que só não tem mudança aparente, mas tá acontecendo troca do mesmo jeito.**” (E1dA7, grifo nosso).

Nossos dados revelaram que a concepção prévia de reação química da discente também se demonstrou puramente macroscópica, se resumindo em imaginar “(…) *um béquer com duas coisas que entram em contato e aí partir do momento que elas estão juntas acontece alguma coisa*”.

Essa concepção de que a simples “junção” entre as espécies seria suficiente para promover uma transformação química também foi observada no questionário ao considerar que a representação de todos os possíveis choques (efetivos e não efetivos) observáveis na figura 2 da questão de número 2 se referiam as etapas reacionais e não a uma situação de equilíbrio.

Ou seja, em sua concepção apenas ocorrem choques efetivos entre as espécies num dado sistema, resultando em transformações que correspondem a etapas reacionais até que o estado de equilíbrio químico seja alcançado, sugerindo também a associação do conceito a um estado estático.

Durante toda a coleta de dados a discente não tentou explicar e discutir os fenômenos no nível molecular, inclusive revelou não possuir como prática comum pensar nesse nível, mas quando o faz costuma imaginar “*bolinhas que aí vai virar mais bolinhas, imagino tudo colorido*”, novamente se apegando ao nível sensorial.

Seu modelo prévio de reação é simplista e pouco desenvolvido e não envolve a presença de fatores cinéticos básicos, como a movimentação e interação das espécies, o que justifica sua dificuldade em explicar o estado dinâmico de equilíbrio químico.

A licencianda demonstrou ter memorizado o conceito, pois ora considera que “*tanto para direita quanto pra esquerda tá acontecendo (reação) na mesma velocidade*”, e ora como um estado no qual “*num tá acontecendo reação, mas elas (concentrações) estão em equilíbrio*”, remetendo novamente a ideia de equilíbrio estático no qual não ocorrem mais transformações devido a reação ter atingido seu máximo, apresentação a associação do conceito à estabilidade.

Essa concepção de estabilidade que remete à concentração constante foi apenas mencionada pela discente ao olhar para o gráfico das concentrações em função do tempo e, novamente, foi observada na análise dos gráficos das velocidades em função do tempo, afirmando que “a velocidade se estabilizou e que vai ser uma coisa constante”, revelando uma possível memorização do conceito de equilíbrio em que algo é constante, sem saber ao certo do que se trata, pois recordou apenas ao olhar o perfil dos gráficos.

No questionário a discente não se referiu às concentrações constantes, e nem ao termo constante, mesmo quando tal característica era fundamental para identificar um possível sistema em estado de equilíbrio. Ela se limitou apenas em dizer que “na figura 1 o sistema atingiu o equilíbrio, vemos a reação ocorrer sem “alterar o sistema”, digamos assim”.

Além disso, a análise de sua animação (Figura 4.5) revelou que a possível consideração de reações que “ocorrem na mesma velocidade”, não implica no fato de serem simultâneas, pois primeiramente A7 representou a reação direta para depois representar a inversa, se assemelhando a um fenômeno que vai e volta, referente a concepção de “troca entre reagentes e produtos constantes” observada em sua fala durante a entrevista.

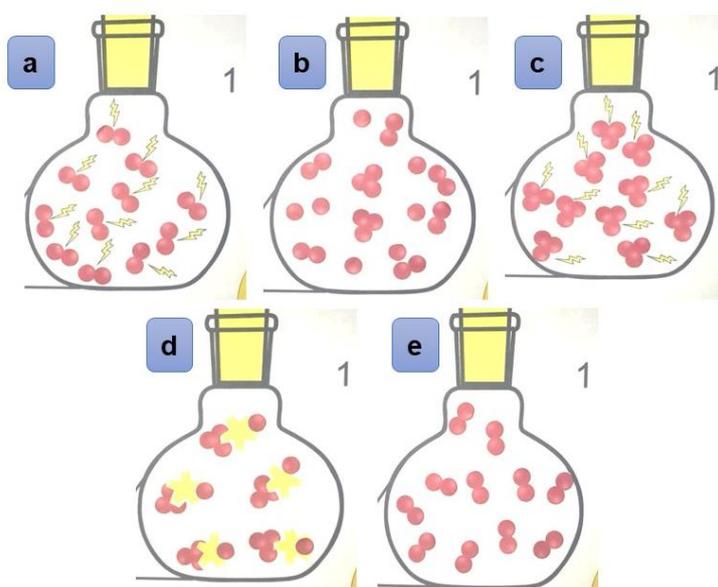


FIGURA 4. 5 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna da discente A7.

A sua animação também permitiu observar que a discente não representou a coexistência das espécies, com exceção dos momentos em que

surgiam (Figura 4.5b) e desapareciam (Figura 4.5c) espécies no sistema, demonstrando dificuldade em realizar a atividade e compreender o fenômeno no nível molecular.

e) Modelo mental de A8:

A8 também apresentou dificuldades em tentar expressar sua compreensão sobre o conceito de equilíbrio, parecendo buscar em sua mente conceitos envolvendo a temática dos quais já havia ouvido ou lido, acompanhados de expressões do tipo “*me deu uns brancos*” e “*esqueci*”, características da aprendizagem mecânica:

“Ah, equilíbrio químico é quando a substância atinge o estado de equilíbrio, né? Onde a **quantidade ali que foi formada de produto e a quantidade que sobrou de reagente**, tipo, **fica em equilíbrio assim, acho que não tem mais tanta variação** [...] Nossa, **fugiu um pouco assim**, mas... como que eu posso dizer? Nossa **deu uns brancos**, é que **eu tenho uma frase pra falar**, mas... equilíbrio químico é... ai como, eu?! Tipo, **realmente sumiu a palavra da minha cabeça**... nossa é que **sumiu a palavra mesmo (...)**” (E1dA8, grifo nosso)

Nessa tentativa espontânea de externalizar o que vinha em sua mente ficou evidenciada a associação e a limitação do conceito a preposições memorizadas e confusas, finalizando sua argumentação dizendo “*tá muito confuso agora na minha cabeça, eu esqueci o que eu ia falar*”, reforçando a hipótese de memorização.

Sua concepção sobre o equilíbrio químico apenas foi elucidada através das respostas indiretas da licencianda aos outros questionamentos da entrevista, juntamente com o cruzamento dessas informações com aquelas advindas do questionário e da animação.

Tal concepção revelou a associação deste como o “*estado máximo da reação, quando não há mais formação de produtos nem reagentes*”, remetendo à concepção alternativa de sistema estático, semelhantemente a A6 e A7.

Tal concepção foi novamente observada no questionário ao considerar que a figura da questão 2 em que estavam representados os possíveis choques (efetivos e não efetivos) entre reagentes e produtos no estado de equilíbrio não estava correta pois “*ainda há moléculas que não sofreram reações e também há formação de produtos que não poderiam ser formados (...)*”.

Ou seja, essa sua explicação sugere que no equilíbrio químico não ocorrem mais interações e transformações de produtos e reagentes e que os possíveis choques que ocorrem em um sistema são todos do tipo efetivos.

A licencianda também revelou uma visão simplista e restrita ao discurso sobre o conceito subsunção de reação química, o qual se trata de uma *“junção de duas substâncias para formar outras substâncias... precisa de energia, precisa de contato, né? Elas precisam, como posso dizer, compatíveis, assim?!”*.

Nessa resposta espontânea é possível observar novamente o uso incorreto do termo “junção” por parte de professores em formação para se referir a interação e choques entre as espécies, além de alguns conceitos que pareceram memorizados.

Assim como A1, A3 e A6, a discente A8 revelou que costuma visualizar as reações no nível simbólico, imaginando de vez em quando as *“moléculas chegando se aproximando, mas sem um nível de abstração elevado”*, se focando nos aspectos quantitativos imaginando *“(...) as quantidades... quando é estequiometria só os números mesmo, eu não visualizo assim a reação (espécies interagindo)”*.

Com relação ao elemento “velocidades iguais”, a licencianda não o mencionou em nenhum instrumento de coleta de dados, inclusive nas análises dos gráficos das concentrações e das velocidades pelo tempo. A discente não conseguiu explicar e também não associou este último gráfico ao conceito de equilíbrio químico, e ao primeiro propôs apenas uma leitura superficial referente a variação das concentrações em função do tempo, reafirmando sua visão de equilíbrio estático:

“(...) conforme o tempo, vai atingindo o estado de equilíbrio né? Diminui a quantidade do reagente e aumenta a concentração, tipo a quantidade do produto aqui no caso, até tá no estado de equilíbrio onde eles não reagem mais, porque já atingiu no caso... é que depende da quantidade estequiométrica que você tem, né? Eu acho que quando atinge essa quantidade que é o máximo que eles podem reagir, acho que atinge o estado de equilíbrio.” (E3aA8, grifo nosso)

De acordo com essa concepção, esse estado estático em que não ocorrem mais transformações químicas é consequência do “consumo” e “produção” estequiométricas de reagentes e produtos, revelando a concepção alternativa de que as quantidades das espécies no meio correspondem aos coeficientes apresentados na equação química e também na possibilidade da reação ocorrer, por algum tempo (antes do estado de equilíbrio químico) fora dessas proporções.

Essa sua visão de equilíbrio se mostrou semelhante àquela apresentada por A6, de maneira que ambos os discentes associam o equilíbrio a um estado reacional no qual uma reação reversível ocorre segundo a estequiometria reacional. Esses dados revelam a dificuldade dos discentes em diferenciar o fenômeno de sua representação.

Sua animação, que se assemelhou aquela proposta por A6 (Figuras 4.3 e 4.4), revelou a concepção de equilíbrio como um processo não simultâneo no estilo vai e volta, representando primeiro a formação das moléculas de ozônio, seguida da formação das moléculas de oxigênio, assim como fizeram os demais discentes já discutidos até o momento.

Sua concepção de sistema que “vai e volta”, foi observada também através das argumentações fornecidas por A8 durante a entrevista, como por exemplo ao considerar que *“na situação de equilíbrio químico a reação é inversa... ela tem como voltar pro estado inicial”* e que, segundo a discente *“isso quer dizer que é uma reação que tá favorecendo os dois lados assim da reação”*.

O termo “favorecimento” utilizado nesse contexto se referiu a consideração de um sistema reversível e não a qualquer explicação relacionada com o princípio de Le Chatelier.

Em sua animação a licenciada não representou a coexistência das espécies, compreensão esta que se mostrou confusa durante a entrevista conforme já mencionado anteriormente na discussão sobre sua concepção de equilíbrio químico.

Para ela *“a quantidade ali que foi formada de produto e a quantidade que sobrou de reagente, tipo, fica em equilíbrio assim, acho que não tem mais tanta variação”*. Licenciandos da UFS investigados por SANTOS e MELO (2012) também apresentaram essa concepção de reação que não ocorre com consumo total de reagentes de maneira a manter no sistema ambas espécies.

Porém, como tal critério não foi considerado durante a sua animação, sendo apenas comentado nesse momento na entrevista, acompanhada de dúvidas evidenciadas pelo uso da expressão “eu acho que”, possivelmente a discente memorizou esse elemento, apresentando dificuldades em visualiza-lo.

Através de sua fala também foi possível observar sua concepção confusa sobre a manutenção quantitativa das espécies no sistema, sendo este,

inclusive o único momento durante toda a etapa de coletas que a discente se referiu a tal elemento.

Sua resposta à questão de número três do questionário reforça a hipótese de memorização das concentrações constantes, pois a resposta a essa questão. Como já discutido nesse trabalho, exigia a consideração desse elemento, e a discente não associou nenhum sistema a manutenção quantitativa das espécies.

Além disso, na análise do gráfico das concentrações em função do tempo, como já mencionado, a discente não se referiu a essa característica do estado de equilíbrio químico.

f) Modelo Mental de A9:

Ao responder de maneira espontânea o que vinha em sua mente ao ouvir a expressão “equilíbrio químico”, A9 demonstrou associar o conceito a um estado de harmonia em que apenas aparentemente não está ocorrendo reação, resposta semelhante àquela fornecida por A7, dizendo que “*é, algo que tá em harmonia... e como se tivesse não ocorrendo mais, mas tá ali, tá igual... igual ao que era antes*”

Sendo assim, a discente A9 finaliza sua explicação sobre o conceito de maneira breve e simplista, apegada ao aspecto sensorial, dizendo que o está “*igual ao que era antes*”, se referindo ao estado inicial da reação indicando apresentar aquela concepção de reação que vai e volta, pois segundo a discente se trata de:

“(…) uma **reação que acontece, que continua acontecendo**, tanto pra formar produto quanto pra formar reagente [...] **porque dá pra você formar o produto mas dá pra você voltar pros reagentes.**” (E6A9, grifo nosso).

A9 termina sua explanação dizendo que o estado de equilíbrio é alcançado quando “*a velocidade de ambas reações se igualam*”, entretanto, a análise de sua animação (Figura 4.6) sugere que a consideração de sistema reversível, mas não simultâneo.

A análise de sua animação também permite observar que a discente não considerou a coexistência das espécies em seu filme diurno, com exceção de alguns momentos (Figura 4.6b, c) em que manteve inalteradas algumas moléculas de $O_{2(g)}$ presentes no sistema que não participaram das etapas reacionais e permaneceram estáticas em suas posições.

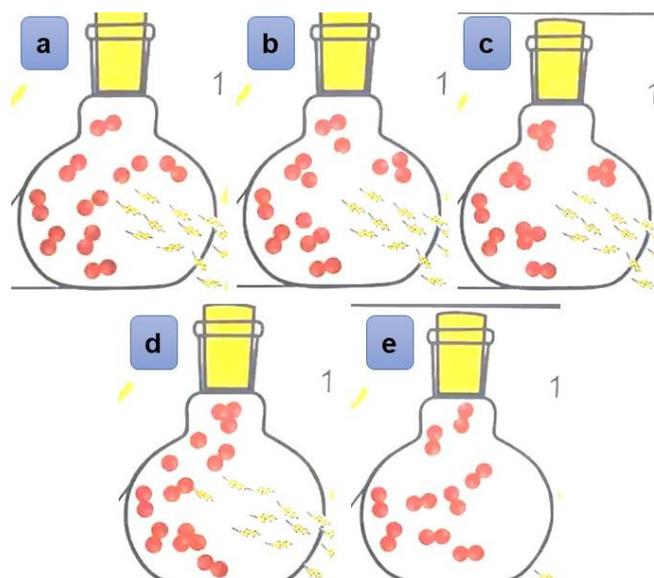


FIGURA 4. 6 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna do discente A9.

A licencianda finalizou seu filme como os demais discentes dessa categoria, demonstrando a total conversão das moléculas de ozônio em moléculas de oxigênio. Já na sua animação noturna foi demonstrada a coexistência de ozônio e oxigênio, entretanto, tal processo foi demonstrado de maneira semelhante a animação diurna, com a manutenção estática de moléculas de O_3 no sistema, e que não fizeram parte das etapas reacionais, representando assim a conversão total do mesmo número de moléculas desse gás apresentados na animação diurna em moléculas de O_2 .

Na entrevista ela também não faz nenhuma menção à coexistência. O único momento em que faz uma referência ao fato é através de um desenho do equilíbrio entre os gases N_2O_4 e NO_2 , mas revelou não ter certeza se ambas espécies estariam coexistindo dizendo, “*então, pode ter as duas espécies ou só o NO_2* ”.

Com relação ao elemento “concentração constante”, durante a entrevista não foi feita nenhuma consideração sobre, nem mesmo nas leituras dos gráficos das concentrações e velocidades em função do tempo.

O único momento na etapa de coleta de dados que a discente fez referência a essa característica do estado de equilíbrio químico (manutenção quantitativa das espécies) foi no questionário, utilizando de tal elemento para concluir que “*na figura 1 o sistema atingiu o equilíbrio pois nos tempos t_4 e t_5 as concentrações se mantiveram*”. Entretanto, não se trata de uma consideração espontânea, podendo

a discente ter se recordado de que no equilíbrio as concentrações se mantêm constantes ao analisar e diferenciar do sistema apresentado nas figuras 1 e 2 dessa questão.

Com relação aos gráficos, A9 fez uma leitura simples apenas mencionando a variação da concentração de produto e reagente até que se atinja o equilíbrio químico, mas como citado, não fez menção à coexistência e nem ao fato das concentrações se manterem constantes, dizendo apenas se tratar de “*uma espécie de equilíbrio... Quantidade de..., mas eu acho que é uma quantidade de reagente elevada e produto baixa, aí conforme a reação vai ocorrendo eles entram em equilíbrio*”.

Com relação ao gráfico da velocidade, ela o considerou como sendo um gráfico no qual as espécies apresentam a mesma concentração, não apresentando certeza ao analisar, dizendo se tratar de “*uma reação de equilíbrio também, só que agora eu acho que as espécies talvez estariam com a mesma concentração?! Não sei...*”

A partir dos dados coletados e analisados da discente A9 foi possível inferir que sua compreensão submicroscópica do conceito de equilíbrio é pouco desenvolvida. Ela expressou verbalmente que não consegue visualizar o fenômeno e ao tentar, se limita em imaginar as espécies “*se chocando e formando novas espécies*” e que sua visão está associada a modelos moleculares, pois diz enxergar:

“(...) **cores vermelhas e cinzas que em química é mais como a gente vê**, então duas espécies vermelhas, uma molécula com duas espécies vermelhas e uma com três espécies cinzas, aí elas se chocando e formando uma com uma cinza e duas vermelhas, algo assim...” (E1cA9, grifo nosso).

Sua visão do fenômeno é simples e não inclui os elementos de alta complexidade, ou seja, as características fundamentais do equilíbrio químico e nem mesmo fatores cinéticos do sistema. Na realidade, sua concepção parece uma maneira diferente de representar a equação química (nível simbólico), conforme discutido para A1, porém com a demonstração das moléculas através do modelo atômico de Dalton, semelhante à sua animação.

Essa limitação de sua visão submicroscópica do estado de equilíbrio químico parece ser consequência de sua concepção prévia do conceito de reação química também pouco abstrata e simplista, se resumindo em repetir expressões gerais se referindo a “*(...) algo que acontece a todo momento, é... mudança,*

modificação, que tá acontecendo a todo instante”, limitada às transformações no meio aquoso:

“(…) precisa de reagente e produto, e também que eles estejam em contato, provavelmente em solução aquosa, ou algum solvente... e **acho que só isso**, a partir disso a reação já ocorre, tem como aumentar a velocidade, mas acho que **só reagente e produto e um solvente já acontece**. ” (E1aA9, grifo nosso).

Essa visão simplista sugere que no entendimento de A9 apenas o contato entre reagentes em um determinado meio é suficiente para promover uma reação química, não incluindo os fatores cinéticos e termodinâmicos, assim como não foi observado em sua concepção de equilíbrio químico.

g) Modelo mental de A10:

Ao externalizar o que costuma pensar ao ouvir a expressão “equilíbrio químico” a discente A10 apresentou a concepção alternativa de balança, associando-a a uma estabilidade reacional:

“(…) tem essa coisa do **positivo do negativo**, porque **um precisa sustentar o outro** ... eu penso em **estabilidade**, sempre penso que **há uma estabilidade ou se pode adquirir uma estabilidade** a partir de determinados fatores. ” (E1dA10, grifo nosso)

Esses “fatores” estão relacionados ao princípio de Le Chatelier, visto que ao continuar essa explanação espontânea se referiu diretamente a ele, dizendo:

“(…) essa coisa do **Ensino Médio** ficou **bem marcado** na minha cabeça, a **temperatura influência pressão influência, aumentando a temperatura talvez diminua o ponto de ebulição e fusão, sempre essa coisa vem na minha cabeça**. ” (E1dA10, grifo nosso)

Sua fala evidencia a memorização deste princípio, pois ao tentar propor uma justificativa para o efeito da temperatura sobre um sistema que se encontra em estado de equilíbrio químico, sugeriu a incoerente justificativa de que o aumento da temperatura seria capaz de alterar o ponto de ebulição e fusão das espécies envolvidas.

Possivelmente a discente pode ter se confundido com as alterações nos valores da constante de equilíbrio frente a variações de temperatura, entretanto em nenhum outro momento foi feita qualquer referência ao assunto.

Em nenhum momento da etapa de coleta a discente tentou descrever uma visão molecular do fenômeno, assim como não o fez sobre para sua concepção prévia de transformação química. Esta última se demonstrou puramente macroscópica se resumindo em imaginar “*cores, gases, explosões... alguma coisa que dê pra ver*”.

Esse apego ao aspecto sensorial do fenômeno observado para os discentes A6, A7, A8 e A10 também foi observado por JÚNIOR e SILVA (2009), através de manifestações de licenciandos de uma IES do estado de Minas Gerais, nas quais os tais discentes se referiram a uma: “(...) *situação em que o sistema analisado aparentemente se encontra em total repouso, o que na verdade não está*”, (JÚNIOR e SILVA, 2009, p. 578), revelando as dificuldades dos discentes em estabelecer relações entre os níveis representacionais.

Seu entendimento no nível submicroscópico, segundo nossos dados, é pouco desenvolvido, limitado apenas a imaginar “*bolinhas que se chocam*”, não considerando as movimentações e interações entre as espécies em um sistema. Sua compreensão sobre o conceito de reação química também se demonstrou bastante associada ao nível simbólico, pois a discente disse que procura “*ver a composição da molécula, balanceamento*”, semelhantemente a A8, se preocupando em visualizar de onde está vindo cada elemento formador da molécula.

Isso explica o motivo da discente não ter conseguido propor desenhos, esquemas e até mesmo raciocinar sobre reações genéricas do tipo $A + B \rightarrow C + D$, afirmando achar:

“(…) complicado entender A, B, C e D... sempre quando tem A, B, C e D eu **acho muito abstrato** assim, é... A, B, C e D eu acho um pouco estranho assim, **se talvez tivesse, por exemplo, mudança de cores, pra mim, talvez fizesse mais sentido** (...).” (E2aA10, grifo nosso).

Esta característica revela inflexibilidade de interpretação do fenômeno e novamente o apego sensorial. Ao elencar os fatores considerados por ela como necessários para ocorrência de uma reação, a discente demonstrou uma confusão envolvendo o conceito de transformações e ligações químicas, dizendo que a resposta a esse questionamento é dependente da teoria de ligação química adotada para

explicação, segundo A10 (E1bA10) “*dependendo da teoria, se for TLV ou TOM, pode ser a sobreposição de orbitais [...] precisa de simetria, uma energia correta*”

Essa mesma confusão também foi observada nas falas de A8, podendo ser explicada devido às próprias características dos modelos mentais em não apresentarem fronteiras bem definidas, de maneira que conceitos próximos e/ou semelhantes acabam sendo confundidos pelo sujeito (NORMAN, 1983). Somado a isso, as discentes A8 e A10 estavam cursando a disciplina de Química Inorgânica II e, portanto, estudando as teorias de ligações químicas, o que pode ter influenciado nessa confusão.

Assim como A8, a discente A10 não se referiu ao elemento de alta complexidade “velocidades iguais” em nenhum instrumento de coleta de dados. A licencianda também não se referiu a coexistência das espécies e nem ao fato das concentrações se manterem constantes, nem mesmo durante o questionário quando tal informação era requerida.

Em concordância com esses dados, na sua animação, que se assemelhou aquela elaborada por A7 (Figura 4.5), também não foi representada a coexistência, o favorecimento reacional e nem a simultaneidade do processo, sendo observada novamente aquela concepção de reação reversível que vai e volta.

h) Modelo mental de A11:

Assim como A10, a discente A11 apresentou a concepção alternativa de equilíbrio químico como sinônimo de balanceamento que acabou remetendo à ideia de igualdade, ou algo próximo a igualdade, entre as espécies:

“Ah, equilíbrio... quando a gente pensa assim em equilíbrio **é uma coisa assim que tá assim, balanceada**, né? **Mais ou menos iguais dos dois lados**, então o equilíbrio químico é a mesma coisa, tipo se você estudar dá pra imaginar assim.” (E1dA11, grifo nosso)

SANTOS et al. (2016) também observaram que licenciandos da Universidade Federal de Sergipe apresentaram essa concepção de equilíbrio químico atrelada ao conceito de equilíbrio advindo de experiências cotidianas, de maneira que associaram esse estado reacional a ideia de igualdade entre os lados.

Esses alunos investigados pelas autoras (SANTOS et al., 2016) chegaram à conclusão, assim como A11, de que “*o equilíbrio é igual a uma balança*,

na qual existe a mesma quantidade em ambos os lados, havendo uma estabilidade”, e ainda que “[...] não existe diferença entre o primeiro equilíbrio e o segundo (equilíbrio químico), ambos tratam da mesma coisa”,

Em concordância com nossos dados e aqueles apresentados por SANTOS et al. (2016), as autoras GOMES e RECENA (2008) também relataram a presença dessa concepção de igualdade em licenciandos.

No questionário essa concepção alternativa foi novamente observada, pois segundo as explicações fornecidas por A11 na questão de número 2, nenhum dos sistemas representados poderia representar uma situação de equilíbrio químico “*pois há mais reagente que produto*” e, portanto, não estão em concentrações iguais.

Sua visão sobre o fenômeno se mostrou puramente simbólica, estando limitada a “*imaginar aquele gráfico assim, né... aí um tá diminuindo e outro tá aumentando e uma hora eles estão em equilíbrio e fica aquela linha reta, né?*”, evidenciando uma possível memorização desse perfil gráfico, justificando a consideração, por parte da discente de que apenas os gráficos 1, 2, 3 e 4 como possíveis representações para o estado de equilíbrio, assim como A1. É importante ressaltar que esses gráficos correspondem aqueles comumente estudados em aula e presentes em livros didáticos.

De acordo com nossos dados, A11 também apresentou um modelo subsunçor de reação química simplista e predominantemente construído no nível simbólico:

“Ah reação química é.... **tudo que pode reagir**, é.... sei lá, uma **equação química**, ah não sei, vem mais isso, né? [...] **Fórmula na cabeça** [...] sei lá... precisa de **pelo menos dois reagentes assim**, né? Pra ela pode ocorrer, ou se não [...] é.... não sei, um catalisador pra acelerar a reação...” (E1a, b, cA11, grifo nosso)

Com base nessa explicação, assim como A9, a discente acredita que apenas a presença de dois reagentes já é capaz de promover uma transformação química, não tendo sido sugerida a necessidade e importância de interações e/ou choques e outros fatores cinéticos e termodinâmicos. Este pode ser o motivo da graduanda não ter conseguido responder à questão de número 2 do questionário referente à representação das interações e choques das espécies no sistema em estado inicial e em equilíbrio químico.

A discente ainda revelou que tem dificuldades em conseguir imaginar todo esse processo, dizendo “*eu penso mais na reação química (equação) e tento entender o que tá acontecendo, né? Mas acho difícil*”.

Assim como A10, em nenhum momento A11 fez referência aos elementos de alta complexidade velocidades iguais, coexistência e concentração constante, nem mesmo através do uso termos e/ou expressões que pudessem remeter à essa ideia, nem mesmo ao fazer as leituras dos gráficos e na análise da questão de número 3 do questionário, em que a compreensão da manutenção quantitativa das espécies era fundamental.

Sendo assim, nossos dados sugerem que a discente não associa o estado de equilíbrio químico à presença concomitante de produtos e reagentes em um processo dinâmico e simultâneo de interação e reação. Hipótese reforçada na análise de sua animação, que se mostrou semelhante as animações de A6 (Figuras 4.3 e 4.4) e, portanto, também à de A8.

Sua animação colaborou para a elucidação da consideração, por parte da discente, de um processo reversível não simultâneo, através da demonstração das etapas de formação de ozônio seguida das etapas de formação de oxigênio.

i) Modelo mental de A13:

O discente A13, assim como A7, A8, A11, se referiu ao equilíbrio químico como um estado estático no qual não há mais mudanças, mas que os reagentes e produtos se mantêm no meio reacional. Segundo o discente “*chega num determinado momento na reação que não vai acontecer nada, vai tá em equilíbrio tanto produtos e reagentes no meio reacional*”.

Em uma investigação realizada por GOMES e RECENA (2008) com licenciandos da Universidade Federal de Sergipe, essa mesma concepção de equilíbrio estático foi observada através de manifestações similares a de A13. Tais licenciandos, segundo os autores, manifestação a compreensão de que “*estar em equilíbrio significa que produtos e reagentes estão totalmente equilibrados entre si, ou seja, o sistema não sofre nenhum tipo de mudança*”.

Ao utilizar a expressão “equilíbrio entre reagentes e produtos” o discente se referiu à mesma concepção alternativa observada nas falas da discente A11, de que nesse estado as concentrações dessas espécies são iguais, hipótese reforçada

através de dados obtidos através do questionário ao considerar que o sistema representado através da “*figura 1 não está em equilíbrio, pois as quantidades de esferas azuis são diferentes que as verdes em t5*”.

A explicação expressa verbalmente por A13 na fala E1dA13 poderia sugerir a consideração da coexistência de reagentes e produtos no estado de equilíbrio. No entanto segundo a sua animação, a existência das espécies no sistema não está atrelada à coexistência, mas como consequência do processo ser reversível, uma vez que seu filme remete a ideia de reação que vai e volta, comum a quase todos os discentes dessa categoria.

Ainda de acordo com a animação proposta pelo discente A13, que tem a sequência de fotografias reduzidas da discente A3 apresentada na Figura 4.2 como representativa, além do discente não representar a coexistência das moléculas de oxigênio e ozônio, também não representou o favorecimento reacional e nem as velocidades iguais.

Não foram observadas manifestações do discente sobre tais elementos, bem como a manutenção das concentrações constantes em nenhum instrumento de coleta, de maneira que o modelo mental construído por ele se mostrou simplista e sem a inclusão dos elementos de alta complexidade.

A sua visualização do fenômeno se mostrou predominantemente no nível simbólico, dizendo em diferentes momentos “*é bem difícil pra mim imaginar essas coisas, não consigo muito*”, ao se referir à movimentação e interação entre as espécies no nível submicroscópico.

Nossos dados revelaram uma concepção prévia de reação química também fortemente associada a tal nível, acompanhada de explicações memorizadas associadas à transformação de reagentes em produtos e dependente de diferentes fatores:

“(…) reagente A vai reagir e vai transformar em B, vai ter influência de temperatura, de pressão, vai depender do seu sistema reacional... precisa ter os reagentes no meio aquoso, meio ácido, básico, temperatura alta ou baixa, tem que ter pressão, velocidade de reação.” (E1aA13, grifo nosso)

A13 também disse não conseguir imaginar esse processo no nível molecular, “*só escrevendo mesmo a equação*”, tendo facilidade em ver “*(…) mesmo*

no escrito, a reação, os fenômenos que ocorrem assim, mas o choque entre as moléculas eu não consigo imaginar não...”

Com relação à interpretação gráfica, o discente apenas propôs uma leitura simplista do gráfico das concentrações em função do tempo, se referindo a variação das concentrações em função do tempo até chegar ao estado de equilíbrio químico:

“(…) **com o decorrer do tempo o reagente B vai decaindo e o produto A vai aumentando**, o produto A sai do zero, porque no início da reação não tem nada, e o B tem uma determinada concentração, e ele vai reagindo com o tempo e vai surgindo A **até entrar em equilíbrio químico**. ” (E3aA13, grifo nosso)

Já com relação ao gráfico das velocidades, o discente não conseguiu propor uma interpretação para o mesmo, e também não o relacionou com o conceito de equilíbrio químico.

j) Modelo mental de A14:

Semelhantemente a A1, o discente A14 associou o equilíbrio químico ao princípio de Le Chatelier:

“Nossa, eu **acho difícil lembrar essas coisas...**, mas tudo bem, vem já o **deslocamento do equilíbrio**, esses negócios de aumentar a concentração, temperatura... é **só isso**. ” (E1dA14, grifo nosso)

Em outro momento o discente novamente voltou a se referir a essa:

“(…) **dinamicidade reacional** que **depende de fatores** como pressão, volume, concentração e temperatura **que podem favorecer ou desfavorecer a formação de produtos e reagentes**, além disso, indica **igualdade entre as velocidades de formação de produtos e reagentes**. ” (E6A14, grifo nosso).

Por meio dessas manifestações, é possível perceber a dificuldade do discente em tentar explicar o equilíbrio químico segundo suas próprias palavras, semelhantemente aos demais discentes pertencentes a essa categoria, recorrendo a utilização de conceitos e fatores aparentemente memorizados de que se trata de algo dinâmico, mas sem explicar o que significa esse dinamismo, no qual há fatores externos que perturbam o sistema e que, nesse estágio reacional as velocidades são

iguais. Ele também não deu indicativos de que as espécies coexistem no meio reacional.

A14 revelou não conseguir pensar em uma reação no estado de equilíbrio e, assim como A11, costuma imaginar o gráfico das concentrações em função do tempo quando se refere ao conceito, através do qual consegue identificar se há ou não um processo de equilíbrio para o sistema em questão representado graficamente.

Sua concepção prévia do conceito de reação química se mostrou associada ao nível simbólico e macroscópico, semelhantemente a A8 e A10, dizendo que ao pensar nessas transformações tem o foco na *“estequiometria dela, no balanceamento, nesses negócios... Se muda de cor no tubo de ensaio é porque teve uma reação”*, se referindo mais uma vez aos níveis simbólico e macroscópico.

Sua concepção simplista não envolve a visualização e nem consideração de fatores cinéticos básicos do sistema, o que justifica a dificuldade do discente em construir um modelo mental significativo para o conceito de equilíbrio químico que é dinâmico.

Com relação aos elementos de alta complexidade, o discente apenas falou sobre as velocidades serem iguais em um único momento, durante aquela explicação de equilíbrio apresentada anteriormente. Ele não fez referência a essa característica ao analisar o gráfico das velocidades em função do tempo, assim como não mencionou a coexistência na análise do gráfico das concentrações.

Ao realizar a leitura dos gráficos, A14 demonstrou ter memorizado o perfil gráfico representativo para o equilíbrio químico, mas não compreendido, dizendo que *“entrou em equilíbrio por aí”*, apontando para o momento em que as curvas se tornam retas no gráfico das concentrações e que *“esse é o ponto de equilíbrio também”*. Para o gráfico das velocidades, afirmou não ver nenhuma diferença entre eles, quando na verdade eles trazem informações complementares, porém diferentes.

Com relação a concentração constante, o discente apenas se referiu a esse elemento no questionário para analisar e diferenciar um sistema possivelmente em estado de equilíbrio de outro, dizendo que apenas o sistema apresentado na figura 2 estaria nesse estado *“pois a figura apresenta a permanência de concentração do produto”*.

Entretanto essa sua resposta apenas faz referência a concentração dos produtos, sugerindo que a concentração dos reagentes não necessariamente

precisaria permanecer constante, além da possibilidade de se alterar a concentração apenas do “lado” dos reagentes sem afetar o “lado” dos produtos. Isto se relaciona a concepção alternativa de compartimentalização do sistema, comum entre os alunos, resultante do uso de expressões inadequadas por professores e presentes em livros didáticos, conforme já discutido (MACHADO e ARAGÃO, 1996; MILAGRES e JUSTI, 2001 CANZIAN e MAXIMIANO, 2010).

A animação elaborada por A14 foi a única que se diferenciou das dos demais discentes pertencentes a essa categoria. Conforme é possível observar nas seqüências das imagens de sua animação diurna apresentada na Figura 4.7, o discente não seguiu as etapas reacionais (não representou a reação direta e em seguida a inversa) e demonstrou a inclusão e desaparecimento de espécies no sistema (assim como A7).

Entretanto, semelhantemente aos demais alunos dessa categoria, finalizou a animação diurna com apenas a existência de moléculas de oxigênio no meio reacional.

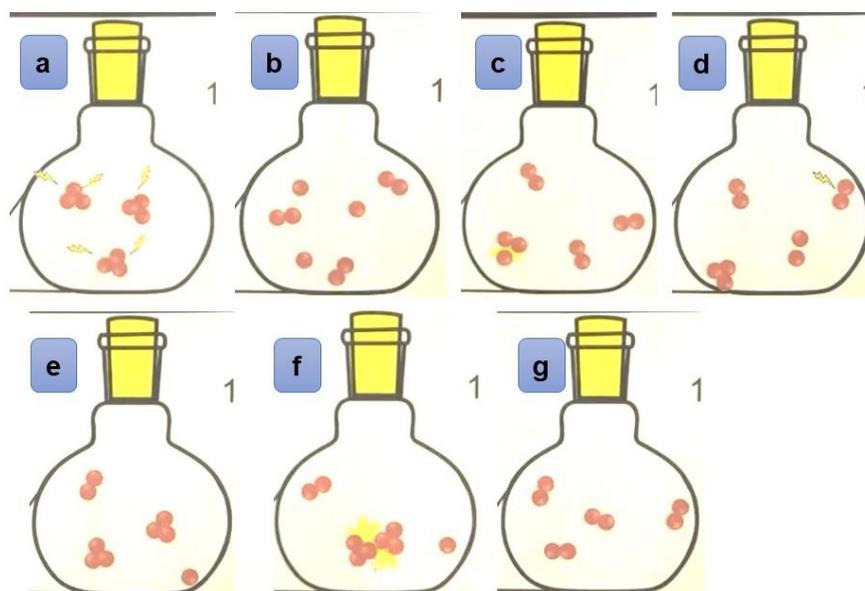


FIGURA 4. 7 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna do discente A14.

Sendo assim, apesar de serem observadas as espécies coexistindo em alguns momentos, tal demonstração parece ser consequência da elaboração de uma animação confusa, que não foi planejada, conforme o próprio discente mencionou, pois se preocupou apenas em tentar demonstrar todas as semi-reações envolvidas.

Com relação as animações noturnas, todos os discentes pertencentes a essa categoria (com exceção de A7 e A9) elaboraram tais animações muito parecidas, por isso optou-se em realizar essa breve discussão referente a essa animação no final, de forma geral. Na Figura 4.8 é possível observar a animação noturna elaborada pelo discente A14.

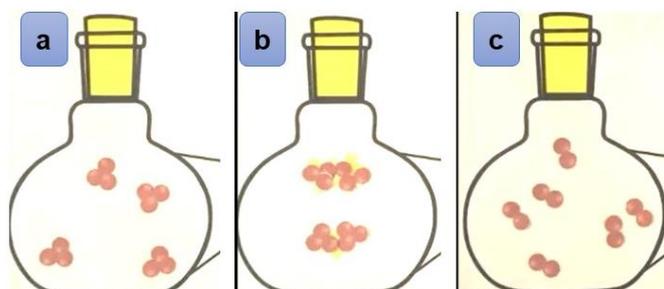


FIGURA 4. 8 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação noturna do discente A14.

De acordo com essa animação é possível observar que os discentes representaram na animação noturna a quebra das moléculas de ozônio para formação das moléculas de oxigênio. De maneira que, novamente não foi considerada a coexistência das espécies, justificando também o fato de ter sido apontado que nenhum dos discentes representou o favorecimento reacional, visto que a mesma quantidade de moléculas de oxigênio e ozônio observadas na animação diurna também foram observadas na animação noturna. Isto com exceção do discente A13 que representou a quebra de 4 moléculas de O_3 resultantes na formação de 4 moléculas de O_2 e de A9, conforme já discutido.

Uma observação importante também deve ser feita com relação a representação das quebras fotolíticas. Todos os discentes representaram corretamente a ação dos raios UVB e UVC nas quebras das moléculas durante o dia e não o representaram na parte da noite, com exceção da discente A3, revelando que a compreensão do mecanismo envolvido no processo não foi limitante para elaboração da animação, visto que havia sido discutido previamente com os discentes.

4.2.1 - Algumas considerações e relações sobre a categoria modelo mecânico

A partir dessas discussões realizadas para cada discente, buscou-se relacionar o modelo mental de equilíbrio químico destes, bem como o nível

representacional envolvido na compreensão do fenômeno e sua relação com a visão prévia de reação química de cada um. Objetivou-se permitir a observação tanto das individualidades de cada modelo mental quanto de suas semelhanças, que resultaram na classificação destes discentes nessa categoria.

A partir da análise e das discussões apresentadas para cada um desses discentes, apresentamos de maneira resumida as principais considerações e características semelhantes entres modelos expressos por esses discentes:

1) todos os discentes apresentaram em suas animações a concepção de equilíbrio reversível, mas não simultâneo, mesmo aqueles que mencionaram o fato da reação ocorrer com velocidades iguais (A1, A3, A6, A7) quanto aqueles que nem fizeram referência a esse elemento em outros momentos da etapa de coleta de dados (A8, A10, A11 e A13);

2) todas as animações, com exceção de A14, revelaram uma concepção de equilíbrio no qual primeiro há conversão total dos reagentes em produtos, para então dar início ao processo inverso, também com consumo total dos produtos, de maneira que as espécies não coexistiram, revelando a memorização desse elemento expresso na forma oral ou por meio de desenhos por alguns discentes (A1, A3, A6, A7). Algo importante de se dizer é que esses licenciandos não evidenciaram a consideração desse estado reacional como dinâmico;

3) dentre os discentes pertencentes a esta categoria, apenas A1 se referiu a manutenção das concentrações na maioria dos instrumentos (entrevista e questionário) acompanhada de uma justificativa relacionada ao fato das velocidades serem iguais. No entanto tal justificativa não foi espontânea e também pode ter sido influenciada pelo fato da discente estar estudando o conceito no momento da coleta de dados para ensiná-lo em sala de aula;

4) A interpretação gráfica dos discentes se mostrou de maneira superficial, se limitando em mencionar a variação das concentrações ou das velocidades no decorrer do tempo até o sistema atingir o estado de equilíbrio químico. Isso com exceção da discente A10 que não associou nenhum gráfico ao estado de equilíbrio e de A13 que não conseguiu propor explicações para o gráfico das velocidades e também não o associou a temática;

6) nenhum desses discentes apresentou uma visualização dos elementos de baixa e alta complexidade no nível submicroscópico, justificando a dificuldade observada e relatada por eles ao elaborar as animações, que mais se

assemelharam a uma tentativa de representar cada etapa reacional seguindo as semi-reações, ou seja, uma outra maneira de representar as equações químicas (nível simbólico);

7) com relação ao favorecimento reacional, nenhum aluno o demonstrou pois tanto na animação diurna quanto na noturna (com exceção de A7 e A11), eles representaram exatamente a mesma quantidade de moléculas de oxigênio e ozônio. A diferença entre a animação diurna e a noturna está no fato de que na maioria das animações diurnas foram representadas ambas as reações (direta e inversa) e na noturna apenas a de decomposição de $O_{3(g)}$ (com exceção de A3);

8) todos os discentes apresentaram modelos subsunçores simplistas e pouco abstratos do conceito de reação química, acompanhado da memorização de fatores relacionados à ocorrência desta e de visões puramente macroscópicas e/ou simbólicas, sem a manifestação explicativa desse fenômeno no nível submicroscópico, nem a inclusão de fatores cinéticos básicos como a movimentação, interação e choques do tipo efetivos e não efetivos entre as espécies. Apenas os discentes A3 e A13 mencionaram a ocorrência de choques entre as espécies para ocorrência da transformação na entrevista, enquanto que A7 e A8 utilizaram da terminologia “junção”, os demais nem chegaram a utilizar termos que remetessem a essa ideia;

9) essa visão simplista sem relações cinéticas moleculares, parece ter comprometido a compreensão do estado de equilíbrio e da compreensão desse estado dinâmico, resultando na memorização do conceito e também na presença de concepções alternativas;

10) foram evidenciadas o uso de expressões memorizadas, as vezes controversas (demostradas pelos diferentes instrumentos de coleta de dados), a não referência e explicação espontânea dos elementos de alta complexidade, a não flexibilidade de aplicação e demonstração desses conceitos nos diferentes instrumentos de coleta de dados, como por exemplo na animação em que não foram observados nenhum elemento de alta complexidade;

11) a consideração, em determinados momentos, de alguns elementos de alta complexidade e da reprodução de frases memorizadas, revela que esses discentes não construíram modelos mentais que apresentassem articulações entre esses conceitos, sendo estes incorporados cognitivamente de maneira isolada, ou

pouco relacionada, fazendo com que a aprendizagem resultante fosse predominantemente mecânica;

12) os discentes ao responderem os questionamentos durante a entrevista e ao realizarem a animação demonstraram estar constantemente em dúvida sobre suas respostas e a maneira na qual estavam planejando os filmes, não demonstrando confiança ao tratar e aplicar o conceito, devido não terem construído um modelo mental para o conceito que resultasse na aprendizagem significativa do mesmo e, desse modo os capacitassem para prever, explicar e demonstrar o equilíbrio químico;

13) como consequência, de tais características, todos esses licenciandos apresentaram dificuldades em conceituar e externalizaram suas concepções sobre o conceito de equilíbrio químico, apresentando respostas e justificativas incompletas, simples, algumas vezes evidenciando a memorização de alguns elementos de alta complexidade. Evidenciaram que o conceito e suas características não foram incorporadas significativamente em suas estruturas cognitivas devido à os alunos demonstrarem operar com preposições desconectadas e/ou memorizadas, limitadas a repetições de algumas definições manipuladas mecanicamente. No questionário as respostas, quando não deixadas em branco, foram evasivas, sem aprofundamentos e explicações.

Conforme citado, nas falas dos discentes foram observadas a presença de algumas concepções alternativas que já foram amplamente discutidas na literatura, como a associação do equilíbrio a um sistema estático, reação reversível, mas não simultânea (pêndulo-oscilante) e concentrações iguais de reagentes e produtos (balança).

A concepção de equilíbrio estático observada nesse trabalho através das manifestações orais de A6, A7, A8, A11 e A13 também foi observada em aproximadamente 60% dos licenciandos da Universidade Federal de Sergipe, investigados por SANTOS e MELO (2012) dos quais associaram esse sistema a presença de reagente e produtos nas mesmas quantidades.

Com relação a essa concepção alternativa de que no equilíbrio químico as concentrações são iguais, ela foi observada nesse trabalho através de manifestações dos discentes A6, A10, A11 e A13, assim como em licenciandos de uma IES do estado de Minas Gerais investigados por JÚNIOR e SILVA (2009) e em 22% da UFS investigados por SANTOS et al. (2016).

A concepção de sistema reversível, mas não simultâneo, observada para todos os alunos dessa categoria (e também para A2 e A4, pertencentes a categoria modelo parcialmente significativo que será discutida na sequência desse capítulo) através de suas animações também foram encontradas em licenciandos de outras IES públicas por meio de manifestações escritas, nos quais consideraram que no equilíbrio químico (JÚNIOR e SILVA, 2009, p. 579) “os reagentes formam os produtos e depois os produtos voltam a formar os reagentes”, ou que nesse estado a reação (GOMES e RECENA, 2008) “[...] hora ela está como reagente, hora ela está como produto, isso tudo em um intervalo de tempo muito rápido”.

Em um trabalho mais recente, TODELO e FERREIRA (2016) relataram que formandos do curso de Licenciatura em Química do IF-SP campus Sertãozinho também apresentaram essa concepção manifestada através de representações primeiramente da reação direta de formação da amônia, seguida da demonstração do processo inverso de decomposição.

Nossos dados, em concordância com esses autores, revelam ser este um problema que merece atenção por parte dos professores formadores, pois muitos licenciandos parecem não conseguir compreender o significado da expressão “velocidades iguais”, ou semelhantes. Logo, o significado que o professor acredita estar ensinando não parece ser o mesmo que o aluno está atribuindo. O processo de construção de significados e a interpretação de proposições, conforme argumenta AUSUBEL et al. (1980), dependem da estrutura cognitiva do sujeito, da construção prévia dos conceitos, e das relações destes envolvidos.

As concepções alternativas encontradas nesses licenciando também foram encontradas em alunos de Ensino Médio investigados por MACHADO e ARAGÃO (1996) e FREITAS et al. (2017), os quais também apresentaram a ideia de que nada mais ocorre nesse estado. Ou seja, não há mais transformações químicas, remetendo à ideia de equilíbrio estático comumente estudado na disciplina de Física, além da não vinculação evidenciada do fenômeno como sendo dinâmico e a consideração da reversibilidade, mas não simultaneidade do processo.

Esses dados são preocupantes visto que a compreensão do fenômeno pela maioria dos professores em formação investigados parece ser similar aos dos alunos do Ensino Médio, merecendo atenção por parte dos professores formadores no sentido de tentar propor estratégias para que esses modelos mecânicos, confusos e distantes dos modelos conceituais, ao passarem pelos processos de reconstrução

no decorrer do curso de licenciatura possam assim o fazer de maneira a buscar a aprendizagem significativa do conceito e mais próxima do modelo conceitual.

Conforme discutido, as concepções alternativas geralmente são resultantes da aprendizagem significativa, justificando assim a dificuldade de serem superadas. Nossos dados, nesse sentido, evidenciam que o processo formativo que os licenciandos estão passando não está sendo suficiente para quebrar as barreiras criadas pelas concepções prévias, permitindo aos discentes um desenvolvimento e crescimento cognitivo, e estão mecanicamente aprendendo o conceito.

A persistência de tais concepções pode ser um indicativo de que os professores formadores não estão levando em consideração o conhecimento prévio dos licenciandos, o que pode ser explicado baseado naquelas discussões referentes à dinâmica de formação dos modelos mentais, realizadas com base no trabalho de SOUZA (2013), melhor retomadas e discutidas a seguir.

Os discentes já trazem para sala de aula com seus modelos mentais subsunçores para o conceito de equilíbrio que foram formados a partir de suas experiências cotidianas ou de instruções escolares anteriores e, que resultaram na formação de imagens mentais que retêm essas suas percepções e imaginações sobre esse conceito.

O professor formador ao não considerar essas imagens prévias já acomodadas e equilibradas (que podem ser compreendidas como modelos subsunçores), ao adotar uma postura tradicional de ensino, apresenta as definições do conceito de equilíbrio químico, apresenta alguns exemplos em sala, solicita a realização de exercícios em casa, envolvendo predominantemente uma abordagem behaviorista, assim como na avaliação (SOUZA, 2013).

Como consequência, devido tal postura não atender as condições para o favorecimento da aprendizagem significativa, o licenciando acaba memorizando o conceito e suas leis, aprendendo mecanicamente, sendo capaz de reproduzi-las por meio da repetição de proposições memorizadas, e até mesmo resolver cálculos mecânicos, dando interpretação ilusória de que de fato compreendeu o conceito, obtendo aprovação (SOUZA, 2013).

No entanto, devido à aprendizagem mecânica, o licenciando não incorpora as novas informações, construindo novas imagens cada vez mais elaboradas (SOUZA, 2013). Assim seu modelo mental subsunçor que inclui essas concepções alternativas não passa por um processo de reformulação e como

consequência não aprende o conceito de equilíbrio segundo o modelo conceitual vigente.

Com relação as concepções alternativas, algo importante de se ressaltar, em específico é a ideia de equilíbrio estático e com concentrações iguais, mencionadas anteriormente. Estas foram observadas através das manifestações dos discentes durante a entrevista e no questionário. No entanto, na animação apenas foi novamente observada a reversibilidade não simultânea do sistema, tendo sido demonstrada na ocorrência das transformações químicas (sistema não estático), uma leve movimentação e choques efetivos entre as espécies.

Entretanto, como mencionado, as animações se assemelharam a uma tentativa de representar as semi-reações através de todas as etapas reacionais, de maneira que os alunos não levaram em consideração as características fundamentais e essenciais do conceito (núcleo do modelo) de equilíbrio químico, reforçando a hipótese de memorização do conceito.

Além disso, nem algumas dessas concepções alternativas que estes licenciandos demonstraram possuir durante a entrevista foram consideradas na elaboração de seus filmes, sugerindo a construção de modelos não consistentes e claros por parte dos discentes.

Também não foi observada a representação de quantidades iguais de reagentes e produtos, entretanto isso ocorreu devido a maioria dos alunos representarem o número de moléculas de ozônio e oxigênio equivalentes a estequiometria reacional, revelando a concepção de que o índice estequiométrico representa a quantidade de moléculas do sistema, ao invés da quantidade de matéria em número de mols. Confusão também observada por TOLEDO e FERREIRA (2016) em formandos de um IF do estado de São Paulo.

Essas discussões colaboram para a hipótese da aprendizagem predominantemente mecânica sobre o conceito de equilíbrio químico, que se demonstrou confusa e, nesses casos, controversa frente aos diferentes instrumentos.

Assim, para finalizar as discussões relacionadas a presente categoria, apresentamos no Quadro 4.2 uma síntese referente as principais características que justificam a classificação dos modelos elaborados pelos discentes A1, A3, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A13 e A14 como mecânico.

Modelo mecânico	
Concepção	Características gerais
Equilíbrio Químico	Concepção atrelada ao nível macroscópico e/ou simbólico, acompanhada de concepções alternativas.
Reação Química	Concepção subsunçora atrelada ao nível macroscópico ou simbólico.
$v_1=v_2$	A não compreensão cinética-molecular do conceito de reação química acabou interferindo na atribuição de significado à simultaneidade
[] constante	A não compreensão significativa (nível submicroscópico) da simultaneidade acabou interferindo na atribuição de significado à manutenção quantitativa das espécies
Coexistência	A não consideração cinética-molecular de RQ acabou interferindo na atribuição de significado à coexistência das espécies

QUADRO 4. 2 - Síntese das características dos modelos mentais categorizados como mecânico, com base nos elementos norteadores de análise. Fonte: AUTORA.

Em síntese, tal categorização foi proposta devido ao fato de que os modelos expressos por esses discentes eram constituídos basicamente pela memorização de conceitos soltos, desconectados e pouco significativos para esses alunos. Isto ocorreu, segundo o referencial teórico adotado e os dados coletados e analisados, como consequência da não existência e, portanto, não ancoragem em um modelo subsunçor de reação química devidamente adequado, inclusivo e desenvolvido no nível submicroscópico, resultando assim numa aprendizagem predominantemente mecânica.

Na sequência, serão discutidos os modelos dos discentes classificados na categoria “modelo parcialmente significativo”.

4.3 - Modelo parcialmente significativo

a) Modelo mental de A2:

A concepção prévia do conceito de reação química externalizada pela discente A2 de forma espontânea durante a entrevista, incluiu certa visão de movimentação e interação das espécies:

“(...) os **átomos estão lá todos movimentando** e daí **eles tem uma certa afinidade** de um querer assim **reagir** com o outro, e daí, **nessa agitação eles acabam se chocando** de uma **maneira que é mais**, é mais **estável pra**

eles continua daquela maneira que ele ficou **depois do choque do que voltar** pra maneira que **eles eram antes**. ” (E1aA2, grifo nosso).

Logo, sua compreensão submicroscópica se mostrou um pouco mais desenvolvida do que as dos discentes pertencentes a categoria “*modelo mecânico*”, incluindo algumas noções cinéticas básicas, como agitação, movimentação e choque interatômico/intermolecular, resultantes em produtos que assim se mantem devido serem mais estáveis, ou seja, atribuiu uma causalidade termodinâmica ao processo.

Essa visão cinética molecular parcialmente desenvolvida parece ter influenciado sua compreensão sobre o conceito de equilíbrio químico, que também envolveu a movimentação e interação entre as espécies. Nesse estado, de acordo com a discente

“(…) a **reação tá acontecendo indo e vindo**.... Teria uma quantidade de **moléculas reagindo**, daí elas vão se **transformar em produtos**, mas daí **depois de um certo momento, elas vão voltar pra formar o que elas eram antes**, daí **vai ficar nesse ciclo**. ” (E1dA2, grifo nosso).

É possível observar que a discente incluiu em suas argumentações espontâneas a reversibilidade e dinamicidade do processo, que foi observada novamente na análise do gráfico das velocidades em função do tempo ao considerar que “*elas (reagentes e produtos) atingem a mesma velocidade, quer dizer que elas entraram em equilíbrio*”, ou seja, as duas reações estão ocorrendo.

Entretanto, ao comparar ambas as respostas da discente, em concordância com sua animação (Figura 4.9), A2 parece apresentar aquela mesma concepção já relatada na literatura (GOMES e RECENA, 2008; JÚNIOR e SILVA, 2009; SILVA, 2016) e observadas nos discentes da categoria modelo mecânico de sistema reversível, mas não simultâneo. Esta representou o processo direto (formação das moléculas de ozônio) e em seguida o processo inverso (formação das moléculas de oxigênio), no entanto o realizou com a conversão parcial dos produtos em reagentes (Figura 4.9f).

Algo importante de se ressaltar nesse momento é que durante a elaboração da animação, A2 revelou ter tido como dificuldade central “*explicar como o equilíbrio está acontecendo, ou seja, como o oxigênio molecular é rompido em oxigênio atômico, mas, ao mesmo tempo, o oxigênio atômico choca-se com outro oxigênio atômico e forma o oxigênio molecular*” se referindo a dificuldade em tentar representar a simultaneidade do processo no nível molecular.

Essa manifestação, não observada em nenhum discente da categoria “modelo mecânico”, revela que a discente tem ciência de que as reações são simultâneas, mas por não conseguir visualizar esse fenômeno no nível submicroscópico, devido seu modelo subsunçor ser parcialmente desenvolvido nesse nível, essa compreensão ficou no discurso. Não foi incorporada significativamente em seu modelo mental, visto que nas explicações espontâneas e na sua própria animação, a discente apenas conseguiu associar o equilíbrio químico a um estado reacional que se mantém “*indo e vindo*”.

A análise da animação de A2 também permite observar que a compreensão da coexistência de reagentes e produtos é confusa para ela, visto que durante a animação diurna representou a coexistência das moléculas de ozônio e oxigênio em um único momento, finalizando seu filme dessa maneira (Figura 4.9f). Entretanto, em sua animação noturna demonstrou a conversão de todas as moléculas de $O_{3(g)}$ em $O_{2(g)}$ (Figura 4.9g,h).

Em concordância com essa confusão observada na animação, durante a entrevista, novamente a discente considerou em determinados momentos a coexistência das espécies, mas não pareceu fazer espontaneamente, como por exemplo ao propor um desenho que representasse o estado de equilíbrio para um sistema genérico formado pelos reagentes A e B, e pelos produtos C e D.

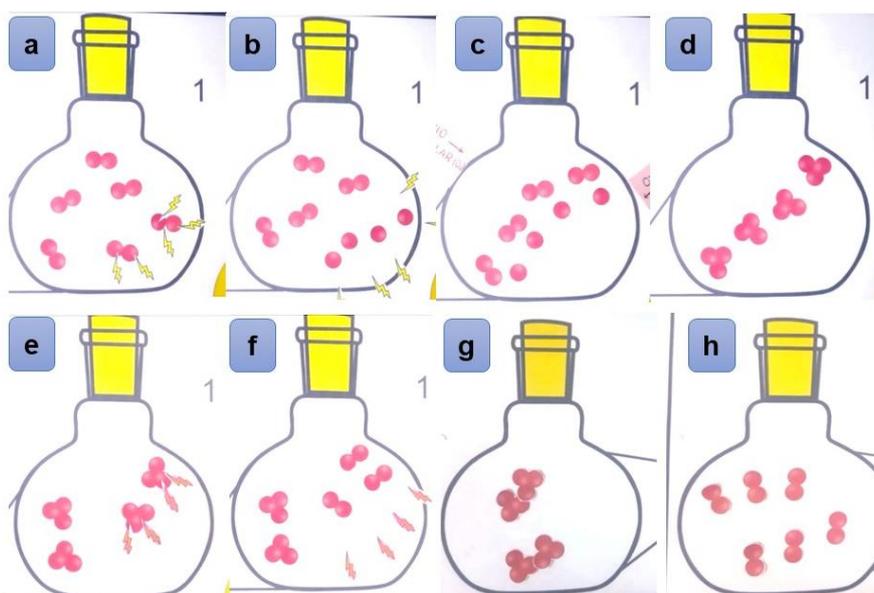


FIGURA 4. 9 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna e noturna de A2.

Inicialmente A2 fez esse desenho considerando apenas a presença dos produtos, e então, pareceu se recordar da definição de equilíbrio, dizendo “*não sei tá certo... não, pera! No equilíbrio tem os outros*”, corrigindo seu desenho com a adição dos reagentes. Esses dados sugerem uma possível inclusão memorizada desse elemento em seu modelo mental, possivelmente devido a sua própria concepção de sistema que “vai e volta”, que dificulta a visualização da coexistência, conforme já explicado em discussões anteriores.

Com relação ao fato das concentrações se manterem constantes, a discente se referiu ao elemento em dois momentos. O primeiro foi no questionário, quando utilizou dessa argumentação para diferenciar uma situação em equilíbrio de outra, concluindo coerentemente que “*na figura 1 o equilíbrio foi atingido pois as concentrações dos reagentes B e C permanecem constantes em t_4 e t_5* ”, e o outro foi na entrevista, na análise do gráfico das velocidades em função do tempo, apontando para a região de equilíbrio químico afirmando que “*(...) ali elas (espécies) atingem a concentração constante.*”

Entretanto, em ambas situações as manifestações não foram espontâneas, de maneira que não é possível afirmar se a aquisição desse elemento de alta complexidade ocorreu com maior caráter mecânico ou significativo.

Ainda com relação a interpretação gráfica, a discente relacionou os dois gráficos, ou seja, associou o momento das concentrações se manterem constantes no gráfico das concentrações com o momento da igualdade das velocidades representadas no gráfico da velocidade. Entretanto, tal relação não ocorreu de uma maneira que a discente associasse essa manutenção quantitativa à igualdade das velocidades, ela parece ter ocorrido apenas com a análise dos perfis das curvas (retas constantes diferentes para o primeiro e iguais para o segundo).

b) Modelo mental de A4:

Ao explicar o que vinha em sua mente ao ouvir falar de reação química A4 revelou uma visão molecular também parcialmente desenvolvida para esse processo, que segundo a licencianda “*precisa de choque efetivo, que precisa criar condições para que aquela reação aconteça, então o meio que ela vai acontecer tem que tá adequado, isso vai envolvendo outras coisas também, que nem temperatura, pressão...*”, segundo A4:

“ (...) no negócio do **choque efetivo eu não consigo imagina o tempo todo as moléculas se chocando**, mas eu **imagino tipo aquela que, vamos dizer, aquela que é meu alvo assim, chegando perto** da outra e **tendo o choque** e aí pra acontecer a reação, aí isso eu consigo, **mas o constante assim dos choques não.**” (E1aA4, grifo nosso).

A visão mental que A4 demonstrou possuir de reação química, por meio dos instrumentos de coleta de dados, está atrelada ao nível simbólico com um certo desenvolvimento no nível submicroscópico, no qual o processo ocorre etapa por etapa, segundo o mecanismo reacional.

Essa maneira sequencial e pouco desenvolvida no nível atômico-molecular na qual A4 visualiza uma transformação química parece ter influenciado a visualização atômico-molecular da discente sobre o estado dinâmico de equilíbrio químico, assim como discutido por CAROBIN e SERRANO (2007). Esta consideração da ocorrência em etapas e limitação da compreensão das contínuas atividades cinéticas das espécies, acabou dificultando a aprendizagem da simultaneidade do processo, fato que ficou evidenciado em sua fala ao tenta explicar o que vem à mente ao ouvir a expressão equilíbrio químico:

“(...) é bem, **bem ruim meu pensamento**, mas **como se fosse um por um**, assim sabe? **Por vez formando, e não formando todos de uma vez**, é.... E **chegando em um momento de formada e voltada, forma e volta...**, mas eu penso **bem passo a passo, só um por um por um, dois no máximo** eu consigo imaginar, daí depois **chega no momento que se mantém constante** (...)” (E1dA4, grifo nosso).

Nessa sua explicação, em que a discente buscou expressar seu pensamento molecular do qual tem consciência ser limitado, é possível novamente observar sua explanação sobre a dificuldade em visualizar as transformações simultâneas e o sistema como um todo. Essa explicação também permite observar uma visão semelhante à sua concepção prévia de reação química, com atenção ao fato de ter incorporado nesse modelo subsunçor a reversibilidade do equilíbrio químico, evidenciada no momento em que considera que “*da mesma forma que tá formando reagente tá formando produto*”.

Além disso, através de sua fala e em concordância com sua animação (Figura 4.10) a reação no estado de equilíbrio químico, segundo sua visão, apesar de

reversível não foi demonstrada de maneira simultânea, se assemelhando também aquela ideia de sistema que vai e volta.

Entretanto, verbalmente ao elaborar seu filme, a discente, assim como A2, disse ter encontrado dificuldades em demonstrar que estava “*acontecendo algo complexo, simultâneo, contínuo nas reações*”, revelando compreender que as reações ocorrem simultaneamente, mas que não conseguiu demonstrar esse processo, possivelmente devido a sua dificuldade em visualizar no nível submicroscópico as transformações do sistema como um todo e assim imaginar como se daria esse fenômeno.

Essa dificuldade foi observada em sua animação, pois de acordo com a análise de seu filme (Figura 4.10), a discente representou a ocorrência de uma determinada etapa reacional para uma ou duas moléculas por vez. Mas, diferentemente dos discentes pertencentes a categoria modelo mecânico e de A2, repetiu diversas vezes as quebras das moléculas de $O_{3(g)}$ para formação de $O_{2(g)}$ e de $O_{2(g)}$ para formação de $O_{3(g)}$, revelando a tentativa em mostrar os processos ocorrem ao mesmo tempo e o tempo todo.

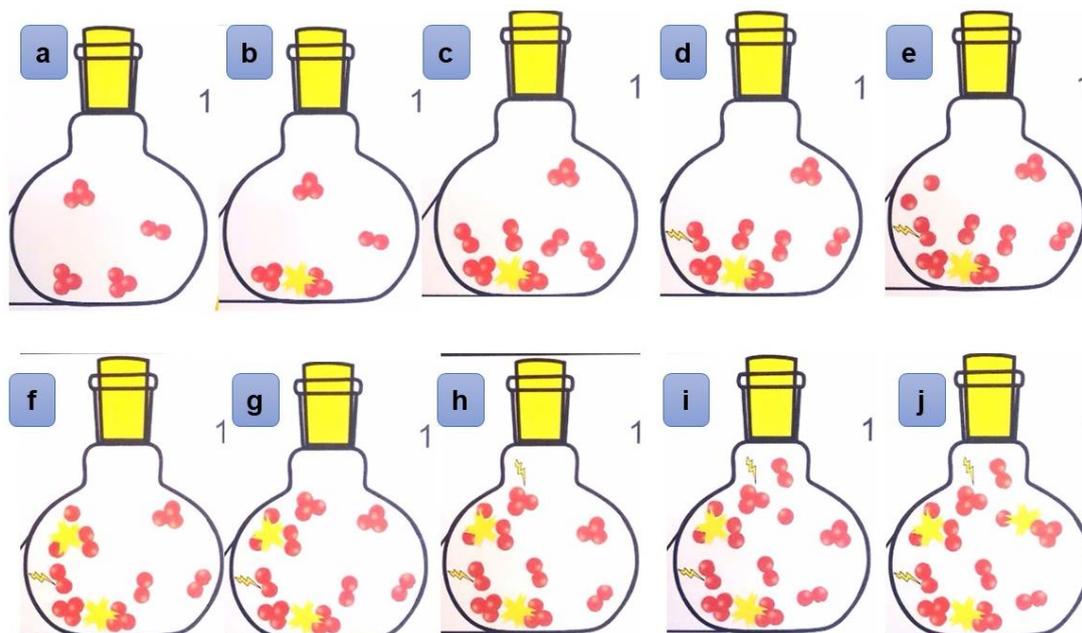


FIGURA 4. 10 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna de A4.

Sendo assim, em uma análise inicial apenas observando os frames apresentados na Figura 4.10, seria possível considerar a representação da simultaneidade do processo, principalmente ao olhar para os frames 4.10h, 4.10i e

4.10j. Entretanto, como citado, a discente revelou em diferentes momentos que possui dificuldades em imaginar no nível molecular esse processo dinâmico, e que na verdade manteve as etapas reacionais conforme iam ocorrendo no sistema “*para deixar a entender que outras moléculas estavam fazendo esse processo todo também (...) dizendo que essa reação é contínua*”.

Ou seja, não foram demonstradas as quebras das moléculas de ozônio e oxigênio ao mesmo tempo, mas a licencianda aparentemente utilizou o artifício de manter as etapas reacionais no filme para de alguma forma tentar representar a ocorrência simultânea do processo direto e inverso, enfatizando que as espécies continuam interagindo. Isto evidencia que A4 associa o conceito de equilíbrio químico não a um estado estático, mas a um estado dinâmico de constantes interações, porém com dificuldades em visualizar.

Essa dificuldade em transitar e operar no nível submicroscópico de A4, como discutido para A2, acabou impossibilitando a discente em compreender o fenômeno como sendo simultâneo e conseqüentemente também influenciou a consideração da coexistência das espécies no meio reacional. Ao analisar sua animação, juntamente com suas explicações apresentadas anteriormente, a estratégia utilizada por A4 também resulta na representação da coexistência de reagentes e produtos.

Todavia, se a análise for feita seguindo os “passos” de cada espécie conforme é formada, segundo sua interação e transformação, a animação diurna terminaria sem a presença de gás oxigênio. Sendo assim, apenas com a consideração da animação diurna, dúvidas poderiam surgir a respeito da consideração desse elemento de alta complexidade.

Entretanto, na sua animação noturna (Figura 4.11) a presença concomitante de ozônio e oxigênio foi observada em todos os momentos, de maneira que possivelmente a discente tenha realmente utilizado daquele artifício também com a intencionalidade de representar a coexistência das espécies.

No seu *stop motion* noturno, a licencianda demonstrou a ocorrência da reação de formação de gás ozônio justificando ter subentendido “*que pouca radiação estaria presente na atmosfera que estaria retida e seria absorvida gerando radicais*”. Novamente, nessa animação ela representou várias vezes o processo de formação de ozônio e oxigênio com a intencionalidade de demonstrar a dinamicidade interacional entre as espécies.

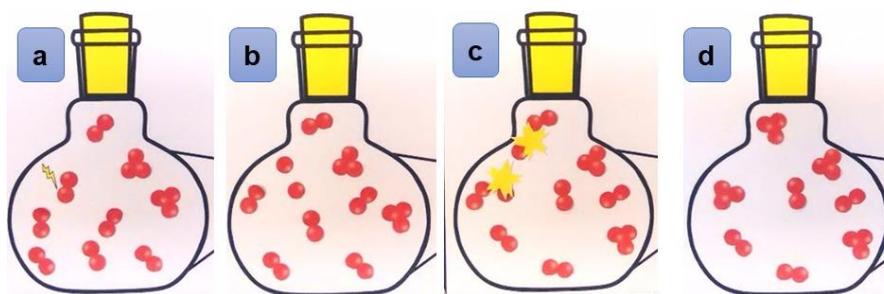


FIGURA 4. 11 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação noturna de A4.

Na entrevista, A4 também se referiu a coexistência em alguns momentos, como por exemplo ao refletir sobre o estado de equilíbrio de uma reação genérica que envolvia os reagentes A e B e produtos C e D, dizendo que *“pensaria já na formação do produto lá, que aí a gente tem a formação do C e o D lá dentro também, um pouco de A e um pouco de B”*.

Esse trecho, juntamente com as discussões realizadas anteriormente, sugere que a discente também tem consciência da coexistência, mas devido não conseguir visualizar a simultaneidade do processo, tendo predominantemente aquela visão de sistema que vai e volta, a compreende no discurso.

Com relação ao fato das concentrações se manterem constantes, a discente mencionou tal características em diferentes momentos durante a entrevista, entretanto não o fez no questionário. Na entrevista, a discente se expressou inicialmente dizendo que *“(...) o estado de equilíbrio é quando algo vai estar constante ali, as vezes uns formam mais produtos, outros formam mais reagentes... e isso vai ser meio que constante”*.

Isto é, inicialmente a discente pareceu apresentar a dificuldade em diferenciar o que é constante do que é igual no estado de equilíbrio químico, assim como observado em licenciandos investigados por SANTOS et al. (2016).

Entretanto, ao continuar sua explicação, essa concepção de que *“vai ser meio que constante”* foi posteriormente explicada pela discente, revelando estar relacionada ao fato de poder haver possíveis variações de inferência experimental que, por aproximação poderiam ser desconsiderados, dizendo ao continuar essa mesma explicação espontânea que *“(...) por mais que ainda tenha reagente sendo transformado em produto e produto em reagente se for lá medir a concentração deles,*

ela não vai ter variação ou se tiver seria aquelas tão pequenas que por aproximação daria a mesma”.

Ela novamente se referiu a esse elemento ao analisar o gráfico das concentrações em função do tempo, enfatizando mais uma vez o fato das concentrações não necessariamente precisarem serem iguais:

“aqui (ponto onde as curvas se cruzam) **é onde a quantidade vai ser igual**, de reagente e produto, que é o que, eu nem lembro se chama assim, mas eu sempre me lembro como **ponto de equilíbrio**, seria o ponto exato onde que seria igual **e que depois** (estado de equilíbrio) **eles vão continuar constante, só que de outra forma, não vai ser tipo igual.**” (E3aA4, grifo nosso).

Com relação ao gráfico das velocidades, A4 se mostrou surpresa, dizendo “*já de cara não sei pensar*”, revelando não se tratar de um gráfico que estava familiarizada, nunca tendo sido visto na graduação, ou por não se lembrar. Ela não o associou ao estado de equilíbrio químico e fez uma leitura simples relacionada à variação da velocidade de consumo de reagente e produto com o passar do tempo.

Por meio dessas manifestações é possível observar que a discente apresentou uma compreensão considerável do estado dinâmico, interacional e reversível de equilíbrio químico, assim como A2, considerando alguns elementos de alta complexidade, mesmo que predominantemente de forma mecânica. Mas semelhantemente a A2, também apresentou dificuldades em visualizar o sistema no nível submicroscópico, apresentando o modelo prévio também pouco desenvolvido nesse nível.

Logo, essa compreensão simbólica (setas equilíbrio, gráfico) e baseada no discurso que possui sobre a simultaneidade, acabou influenciando o entendimento das características do estado de equilíbrio químico, representadas pelos elementos de alta complexidade.

4.3.1 - Algumas considerações sobre o modelo parcialmente significativo

A partir dessas discussões apresentadas individualmente para as discentes A2 e A4, pertencentes a categoria modelo parcialmente significativo, buscou-se evidenciar a concepção de equilíbrio químico, bem como o nível representacional envolvido na compreensão do fenômeno e a relação deste com a

visão prévia de reação química apresentada por cada licencianda. Além disso, objetivou-se expor as individualidades de cada modelo mental e também as suas semelhanças, apresentadas no Quadro 4.1, que resultaram na classificação destas discentes nessa categoria.

A partir da análise e das discussões apresentadas para cada uma dessas discentes, apresentamos de maneira resumida, as principais considerações e características semelhantes dos modelos mentais construídos por elas:

1) foram observadas descrições cinéticas (movimentação, interação e choques entre as espécies) em nível molecular parcialmente desenvolvidas para o conceito subsunçor de reação química a ponto de permitir a compreensão, observada em diferentes momentos e nos diferentes instrumentos, da reversibilidade e dinamicidade interacional e reacional do estado de equilíbrio químico, no qual as transformações continuam a ocorrer com concentrações constantes, porém não necessariamente iguais;

2) apesar de apresentarem o nível de abstração consideravelmente mais desenvolvido que os discentes pertencentes a categoria “modelo mecânico”, tal desenvolvimento não foi suficiente para permitir a compreensão, nesse nível, da simultaneidade do processo, ficando limitado ao discurso. O estado reacional do tipo “vai e volta” semelhante aos discentes da categoria anterior foi novamente observado;

3) foram observadas referências aos elementos de alta complexidade como coexistência, velocidades iguais e concentração constante nos diferentes instrumentos de coleta de dados e de maneira não contraditória entre estes. Entretanto algumas vezes estas referências são apresentadas de forma não espontânea, sugerindo uma possível memorização destes elementos devido à consideração de sistema reversível, mas não simultâneo;

4) diferentemente dos discentes da categoria modelo mecânico, a coexistência foi representada em alguns momentos das animações, entretanto, conforme já discutido, em um único momento (A2) ou por meio da utilização de um artifício (A4), possivelmente por conta da aquisição não significativa da simultaneidade do processo à nível molecular;

5) a interpretação gráfica das discentes se mostrou de maneira similar às dos discentes pertencentes a categoria “modelo mecânico”. Entretanto, A2 propôs uma relação entre o gráfico das concentrações e das velocidades em função do

tempo, mesmo que limitada a análise dos perfis das curvas, enquanto que A4 não conseguiu interpretar este último;

6) com relação ao favorecimento reacional, as discentes também não representaram tal elemento na animação.

De uma maneira geral, A2 e A4 conseguiram descrever o conceito de equilíbrio químico incluindo alguns fatores cinéticos e elementos de alta complexidade, predominantemente memorizados.

Algo importante de se mencionar é que não foram observadas as concepções alternativas de equilíbrio estático, onde não ocorrem mais transformações químicas, e de igualdade nas concentrações das espécies, de maneira que as discentes conseguiram ultrapassar essas concepções prévias advindas de experiências cotidianas sensoriais, diferentemente dos discentes pertencentes a categoria “modelo mecânico”.

Entretanto, ambas as discentes, apresentaram certa visão de compartimentalização do sistema ao tentarem explicar o favorecimento reacional na entrevista, conforme será discutido mais adiante nesse trabalho. No entanto, tal concepção não ocorreu através de representações esquemáticas, mas sim na compreensão e consequente explicação de como o sistema se comporta frente a perturbações externas.

Ambas apresentaram a concepção de processo reversível, dinâmico, entretanto não simultâneo nos diferentes instrumentos de coleta de dados, assim como observado em licenciandos investigados por GOMES e RECENA (2008), SANTOS et al. (2016), e apresentados em revisões realizadas por RAVIOLO e AZNAR (2003), CAROBIN e SERRANO (2008) e SILVA (2016).

Porém, como discutido, A2 e A4 apresentaram a concepção memorizada e limitada ao discurso de que as reações ocorrem em mesma velocidade devido não possuírem um modelo mental no nível submicroscópico suficientemente desenvolvido, assim como o modelo subsunçor de reação química, não conseguindo imaginar como se dá a simultaneidade nesse nível e considerando as propriedades cinéticas das espécies. Por isso não conseguiram atribuir significado a esse elemento de alta complexidade, o que também acabou comprometendo a assimilação da coexistência.

Isto é, quando o discente não concebe as reações químicas como processos que envolvem o rompimento e formação de ligações, condição que implica

na compreensão significativa de como o processo ocorre em termos de colisões entre as espécies, apresentará dificuldades em entender a dinamicidade do estado de equilíbrio (KIILL, 2009).

Sendo assim, nossos dados sugerem que a compreensão da natureza dinâmica do equilíbrio químico depende da existência de um modelo mental prévio do conceito de reação química que permita a compreensão e visualização das atividades cinéticas das moléculas também no nível atômico-molecular.

CAROBIN e SERRANO (2007) em seu trabalho de revisão sobre as concepções alternativas dos estudantes considerando os três níveis representacionais chegaram a mencionar essa importância do conhecimento cinético atômico-molecular prévio das transformações químicas para a compreensão do estado dinâmico do equilíbrio químico, de maneira que os resultados obtidos em nosso trabalho se mostram concordantes e validam tal consideração dos autores.

Nesse momento, ressaltamos que o conceito de aprendizagem significativa não é sinônimo de aprendizagem correta, ou seja, próxima modelo conceitual, e conseqüentemente do modelo científico aceito pela comunidade científica. Esse processo é o resultado da assimilação não arbitrária e substantiva de conceitos àqueles pré-existentes na estrutura cognitiva do sujeito, podendo resultar na aprendizagem significativa como consequência da construção de um modelo mental próximo ao conceitual ou não.

Por isso, justificamos que a aprendizagem do conceito de equilíbrio químico apresentada por A2 e A4 foi parcialmente significativa pois parece ter sido ancorada ao seu conceito prévio de reação química, que se mostrou parcialmente desenvolvido no nível submicroscópico a ponto de permitir a ruptura de algumas concepções alternativas e a compreensão da reversibilidade e dinamicidade do processo, inclusive no nível molecular (mesmo que limitada).

Entretanto, devido a essa limitação ao discurso, a aquisição dos elementos de alta complexidade nesses modelos construídos pelas discentes não parece ter ocorrido de maneira significativa.

Sendo assim, diferentemente dos discentes pertencentes a categoria “modelo mecânico” que revelaram a associação do conceito resumida nas repetições de enunciados memorizados, que constantemente entravam em contradições e da presença de concepções alternativas atreladas ao senso comum, as discentes A2 e

A4 revelaram a construção de uma representação de certa forma analógica para o sistema, com a inclusão de proposições.

Somado a isso, além da não consideração espontânea dos elementos de alta complexidade, A2 e A4 demonstraram ter conseguido ultrapassar as visões sensoriais de equilíbrio, utilizando suas próprias palavras para se referir ao estado de equilíbrio químico, se referiram a esses elementos em diferentes momentos e demonstraram certa visão do fenômeno a nível molecular, o que parece ser consequência de suas visões do conceito subsunçor de reação química também mais desenvolvidas.

Logo, a compreensão do conceito de equilíbrio químico apresentada por essas discentes se mostrou um pouco mais elaborada e complexa, o que é explicado, segundo nossos referenciais, devido seus modelos mentais terem sido construídos a partir da ancoragem em modelos prévios, que foram construídos a partir da assimilação com maior caráter significativo de conceitos de baixa complexidade. Isto permitiu a compreensão do estado de equilíbrio mais próximo do modelo conceitual que as daqueles discentes constituintes do modelo mecânico, e por isso foram agrupadas em categoria diferente.

Com o propósito de finalizar as discussões relacionadas a presente categoria, apresentados no Quadro 4.3 uma síntese com as principais características dos modelos externalizados pelas discentes A2 e A4, sintetizando as análises e discussões apresentadas anteriormente.

Modelo parcialmente significativo	
Concepção	Características gerais
Equilíbrio Químico	Concepção parcialmente desenvolvida no nível submicroscópico (limitada em etapas), sendo observada certa visão cinética-molecular da dinamicidade e reversibilidade deste estado, além de alguns EACs predominantemente memorizados.
Reação Química	Concepção também parcialmente desenvolvida no nível submicroscópico, permitindo às discentes visualizarem as interações das espécies, mas não do sistema como um todo.
$v_1=v_2$	O desenvolvimento parcial no nível submicroscópico das discentes afetou na atribuição de significados à simultaneidade do EQ, sendo este elemento incorporado de maneira mecânica, limitada ao discurso.
[] constante	A não compreensão significativa (nível submicroscópico) da simultaneidade acabou interferindo na atribuição de significado à manutenção quantitativa das espécies.

Coexistência	A não compreensão significativa (nível submicroscópico) da simultaneidade acabou interferindo na atribuição de significado à manutenção quantitativa das espécies.
--------------	--

QUADRO 4.3 - Síntese das características dos modelos mentais categorizados como parcialmente significativo, com base nos elementos norteadores de análise. Fonte: AUTORA.

Na sequência será apresentada e discutida a categoria modelo mental significativo.

4.4 - Modelo significativo

a) Modelo mental de A5:

Durante a entrevista, ao externalizar o que vinha a mente ao ouvir a expressão “equilíbrio químico”, A5 disse pensar em “*um estado que a reação chega em que a velocidade de transformação de reagente para produto é igual ao processo inverso*”, incluindo em suas explicações uma visão consideravelmente desenvolvida para o processo no nível molecular, desde o estado inicial até atingir esse estado reacional dinâmico, referindo-se a uma reação de decomposição em que imagina:

“(…) um **sistema inicial que tem só o reagente A** eles estão ali tão **interagindo, alguns se transformando em produto**, aí a **concentração de produto começa a aumentar**, ocasionalmente, como você tem mais produto, você **aumenta a interação entre moléculas de produto**, então vai chegar um momento em que **vai começar**, né?! Os **choques efetivos entre os produtos e vai fazer com que eles comecem a se transformar em reagentes**. ” (E1dA5, grifo nosso).

Essa concepção do estado de equilíbrio pareceu fortemente atrelada ao modelo mental subsunçor construído pelo discente para o conceito de reação química, o qual descreveu como sendo um sistema que “ *(…) tem determinado reagentes A eles estão lá dentro do sistema, eles estão colidindo, algumas colisões são efetiva, e ai transforma em produto, e daí por ter o produto no sistema também, eles começam também a interagir.* ” Com atenção ao fato de ter incorporado nessa visão prévia a reversibilidade e dinamicidade do processo.

Essas explicações deixam claro que A5 considera a ocorrência de choques efetivos e não efetivos entre as espécies do meio reacional, evidenciando a importância destes últimos para que ocorra uma dada transformação, e ainda

relaciona a probabilidade da ocorrência desses choques com a concentração das espécies no sistema, que melhor foi evidenciada ao continuar suas explicações espontâneas:

“(…) conforme a quantidade de produto aumenta, as colisões entre moléculas de produto também aumenta, assim, devagarinho, a velocidade da reação inversa vai aumentando até que a gente chega naquele ponto de equilíbrio de velocidades iguais.” (E1dA5, grifo nosso).

A aquisição da reversibilidade e simultaneidade do estado de equilíbrio ao modelo mental construído pelo discente pareceu ocorrer de maneira significativa, pois ele justificou que a manutenção quantitativa de reagentes e produtos no meio reacional é uma consequência das velocidades serem iguais:

“(…) ela (reação) vai atingir o equilíbrio no momento em que a velocidade dos dois processos vão ser idênticos, isso significa que se você pegar por exemplo uma análise no mesmo Δt você percebe que a concentração de A e de B, você percebe que elas se mantem constante, elas não se altera mais, justamente pelo fato de o processo (velocidade) direto e o processo inverso é idêntico.” (E1dA5, grifo nosso).

A simultaneidade das reações também foi observada em sua animação através da demonstração concomitante das quebras das moléculas de ozônio e oxigênio, conforme é possível observar nos frames reduzidos apresentados na Figura 4.12, o que sugere também a aquisição significativa desse elemento no nível molecular.

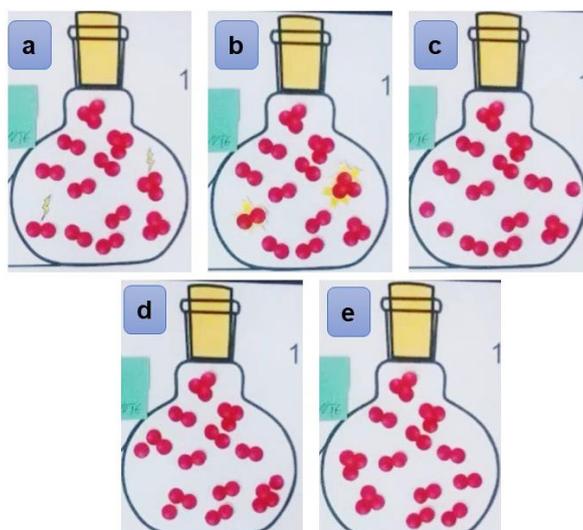


FIGURA 4. 12 - Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna de A5.

Além de representar as velocidades iguais, o discente também representou em todos os momentos, inclusive em sua animação noturna, a coexistência das espécies. Através de uma análise quantitativa, é possível observar que o número de moléculas de ozônio e oxigênio iniciais (Figura 4.12a) correspondem ao número observado no final de sua animação (Figura 4.12e), de maneira que A5 também representou as concentrações constantes.

Com relação ao favorecimento reacional, não foi observada qualquer manifestação durante a animação, sendo sua compreensão avaliada através da entrevista e questionário, como será discutido mais adiante nesse trabalho.

No questionário, A5 também deixou clara sua concepção de que as concentrações se mantêm constantes em dois momentos distintos. O primeiro foi ao responder à questão de número dois, que estava relacionada à representação esquemática de todas as interações (choques efetivos e não efetivos) possíveis entre reagentes e produtos dentro de um dado sistema, dizendo:

“Embora em termos de interações existentes nos sistemas as figuras estejam perfeitas, apenas pela análise dessas figuras não se pode afirmar que o sistema alcançou o equilíbrio, uma vez que não ficou claro que as quantidades de reagentes e produto, em um determinado intervalo de tempo, se mantiveram constante.” (Q2A5, grifo nosso).

Ou seja, se tratou de uma situação espontânea, e a outra foi ao responder a terceira questão, afirmando que dentre os dois sistemas apresentados esquematicamente na forma de figuras, apenas o primeiro possivelmente atingiu o estado de equilíbrio químico:

“Na figura 1, o sistema possivelmente atingiu o estado de equilíbrio, uma vez que do t4 para o t5 verifica-se que a quantidade de reagente e de produto se manteve constante. Na figura 2, o sistema não atingiu o estado de equilíbrio, pois durante todos os intervalos de tempo mostrados, há variação na quantidade de reagente e de produto.” (Q3A5, grifo nosso).

O discente foi o único a incluir o termo “possivelmente” em sua resposta, mesmo esse termo estando presente no enunciado da questão, e ao fazer isso deixou claro que outros fatores devem ser analisados para determinar esse estado reacional, como o fato das transformações ainda estarem ocorrendo com velocidades iguais, caracterizando assim um sistema dinâmico.

Ainda com relação ao questionário, o discente reforçou essa sua concepção de sistema dinâmico e da ocorrência de interação entre todas as espécies, inclusive quando o sistema atinge o estado de equilíbrio químico, afirmando que os esquemas apresentados nessa questão por meio de figuras 1 e 2, representativas das situações inicial e em equilíbrio respectivamente, eram adequados para ilustrar todos os possíveis choques existentes, considerando que poderia haver choques que não são efetivos.

Em decorrência da aprendizagem com maior caráter significativo do conceito de equilíbrio químico o licenciando conseguiu passar da simples leitura comum de gráficos que relacionam tanto a concentração, quanto a velocidade de um dado sistema pelo tempo, para uma visão atrelada aquele sistema imaginado por ele, discutido anteriormente, conforme é possível observar nos seguintes trechos:

“(…) esse **gráfico é interessante** de se usar pra discutir equilíbrio químico **porque ele é mais uma coisa visual**, né? Então você vê no início da reação você tem uma determinada concentração de reagente ele vai reagindo e vai diminuindo, diminuindo até que fica constante e produto vai aumento aumentado até que fica constante então **usando o gráfico e pensando no nível submicroscópico, aquele meu sisteminha ali fica bem interessante de desenvolver todo esse processo aí.**” (E3aA5, grifo nosso).

É importante ressaltar que o discente se referiu e explicou esse sistema imaginado por ele em diferentes momentos da entrevista, revelando que esse modelo mental molecular é utilizado por ele para prever e explicar os fenômenos relacionados a temática.

Com relação ao gráfico das velocidades em função do tempo. O discente disse se tratar de uma representação extremamente importante do estado de equilíbrio químico, que deve ser utilizado juntamente com o gráfico das concentrações, segundo A5: *“os dois gráficos são importantes, acho que o ideal seria você sempre trabalhar com os dois, porque um digamos, complementa o outro, permite uma compreensão melhor, né?”* E que se atrelados a discussões envolvendo aquele sistema molecular visualizado por ele, facilitaria a compreensão do conceito.

No questionário, A5 considerou que todos os gráficos apresentados na questão 1 poderiam representar possíveis situações de equilíbrio químico, ou seja, considerou corretamente a possibilidade do 6º gráfico em fazê-lo, entretanto, também a do 5º, o que, de acordo com o desempenho do discente durante a entrevista, pode

indicar problemas de interpretação gráfica e não conceitual, devido ter expressado verbalmente que “*enquanto a reação se processa até chegar ao estágio de equilíbrio, a reação inversa também ocorre, porém, com uma frequência menor de choques do que a transformação (reação) direta*” revelando ter construído uma boa compreensão do processo.

A5 espontaneamente se referiu e explicou os elementos de alta complexidade, coexistência, velocidades iguais e concentração constante, não precisando da influência de fatores externos (como o perfil gráfico, ou análise e comparação de esquemas) para fazê-lo.

Logo, o discente aparenta ter construído seu modelo mental predominantemente significativo e próximo ao conceitual sobre o conceito de equilíbrio químico, o que parece ter ocorrido a partir da ancoragem em um modelo prévio de reação química que incluía aspectos cinéticos e a relação entre estes.

Isto parece ter resultado no entendimento, por parte de A5, de que o equilíbrio químico é um estado dinâmico no qual ambas as reações (direta e inversa) estão ocorrendo em mesma velocidade, ou seja, são simultâneas.

De acordo com essas discussões é possível dizer que o discente também incorporou significativamente em seu modelo mental a coexistência e a manutenção quantitativa de reagentes e produtos.

b) Modelo mental de A12:

O discente A12 em diferentes momentos, e em todos os instrumentos de coleta de dados, associou o conceito de equilíbrio químico a um processo dinâmico no qual “*as transformações não cessam, mas sim acontecem com a mesma velocidade, ou seja, não há variação nas concentrações*”, revelando ter clara a concepção da dinamicidade e da simultaneidade do processo que implicou na compreensão da manutenção quantitativa das espécies no meio reacional.

O discente disse imaginar que nesse sistema em há “movimento aleatório das espécies” e que resulta nas interações entre elas, possui “todas essas substâncias (reagente e produto) aglomeradas de uma determinada maneira”, se referindo também a coexistência.

Ao dizer que as espécies estão “*aglomeradas de uma determinada maneira*” o discente se referiu aos diferentes estados de equilíbrios existentes, ou

seja, aqueles em que contém maiores concentrações de produtos, de reagentes ou que apresentam concentrações iguais e/ou próximas.

O termo “aglomerado” foi utilizado no sentido de se referir que ambas as espécies estarão no meio reacional de uma maneira que é mais estável, pois para que as transformações ocorram, segundo o discente é necessário que os choques tenham correto “*arranjo tridimensional*” envolvendo aspectos energéticos.

Essa visão do fenômeno se assemelhou em muito a sua concepção prévia do conceito de reação química, o qual associa a uma “transformação que acontece que você tem um estado inicial e final e as espécies vão interagir de modo a alcançar o menor estado energético, imaginando o fenômeno no nível submicroscópico como um processo que parece ocorrer envolvendo alguns passos sequenciais:

“(…) **primeiro, precisa haver contato**, sem contato não há reação, precisa ter um **arranjo tridimensional** adequado para que a transformação aconteça, **o estado final precisa ser**, claro, de maneira geral, **mais estável do que o estado inicial** e você **precisa também...** é que a gente chama de **afinidade**, então você precisa do contato, arranjo tridimensional e do aspecto energético.” (E1bA12, grifo nosso).

À essa visão subsunçora o discente incorporou a reversibilidade e dinamicidade características do estado de equilíbrio químico, se demonstrando consideravelmente desenvolvida, envolvendo a compreensão de que há fatores importantes necessários para o desenvolvimento do processo, como a ocorrência de interação e choques entre as espécies que foram observadas em todos os instrumentos de coleta.

Essa hipótese da compreensão significativa de tais elementos foi observada ao raciocinar sobre um possível desenho representativo para o estado de equilíbrio de uma reação genérica formada pelos reagentes A e B, tendo como produtos as espécies C e D.

O discente foi o único a considerar que seria necessária uma constante de equilíbrio para poder predizer qual espécie seria mais favorecida e assim poder representar tal situação hipotética, então, escolheu uma maneira para fazê-la, justificando-a com base numa suposta estabilidade adquirida. Segundo o licenciando:

“(…) olha, **quantitativamente falando eu não sei quanto reage e quanto forma de cada um**, por isso **você pode ter concentrações maiores dos**

reagentes e produtos, de acordo com o equilíbrio vai favorecer [...] claro eu não tenho nenhum dado do exercício, nenhuma consideração do exercício [...], mas o equilíbrio por ser uma reação reversível, você tem justamente a formação dos quatro compostos, por ser uma reação reversível **você sempre vai ter a formação dos reagentes ou produtos**. Mas sei lá, mas **supondo que é mais estável a situação C e D em relação A e B eu poderia representar, sei lá, a nível simbólico dessa maneira** [maiores quantidades de C e D do que A e B].” (E7bA12, grifo nosso).

Essa mesma consideração feita por A12 com relação a necessidade de se conhecer a magnitude da constante de equilíbrio para predizer e assim representar a composição das espécies no estado de equilíbrio químico também foi observada em alguns licenciandos concluintes do curso de licenciatura de uma IES do estado de Minas Gerais investigados por JÚNIOR e SILVA (2009), que também observaram a presença desse pensamento teórico mais elaborado para o conceito.

A12 também foi o único a considerar que a situação inicial, para esse mesmo sistema, poderia corresponder a concentrações iniciais de apenas A e B, apenas C e D, ou a mistura de produtos e reagentes, pois em se tratando de equilíbrio, tanto faz o modo que você inicie a reação (pelos produtos ou reagentes, ou ambos), isso porque:

“(...) justamente por tá no equilíbrio, não ser uma reação irreversível, eu posso tanto representar A e B no sistema, quanto posso representar C e D, quanto posso representar A, B, C e D no sistema. Então, de maneira genérica se eu tivesse que representar isso aqui, sei lá, considerando o sistema aquoso eu poderia representar os compostos A e B quanto o sistema C e D, porque **eu não necessariamente preciso ter só os reagentes ou só os produtos**.” (E7bA12, grifo nosso).

Em concordância com esses dados obtidos durante a entrevista, em sua animação (Figura 4.13) o discente também representou a coexistência das espécies e a simultaneidade das reações (através da quebra concomitante de ozônio e oxigênio, Figura 4.13b,c).

A análise mais atenta de sua animação diurna e noturna, associada às informações fornecidas pelo discente oralmente ao elaborar seus filmes, revelaram que A12 também considerou o favorecimento reacional (Figura 4.13a, e), sendo o único discente a representar tal elemento através desse instrumento de coleta de dados.

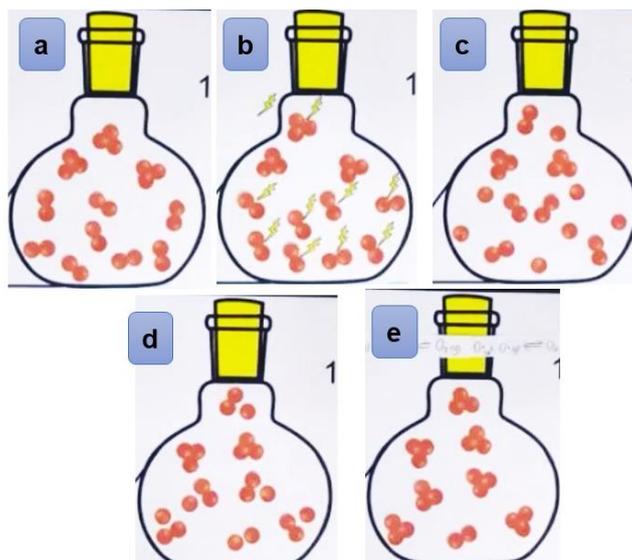


FIGURA 4. 13. Sequência das imagens representando o sistema em equilíbrio químico da animação diurna de A12.

O licenciando iniciou seu *stop motion* diurno como um “estado de equilíbrio inicial”, no qual os processos reversíveis simultaneamente ocorrem, mas então sob influência da luz solar, sofre perturbação, com a conversão da maioria das moléculas de oxigênio em moléculas de ozônio (Figuras 4.13c-e). Seu filme é finalizado mostrando esse estado dinâmico para o sistema nesse período do dia no qual as reações não cessam, mas apresenta maiores quantidades de $O_{3(g)}$ naquele período, devido ser esse o sentido favorecido.

Em sua animação noturna novamente o favorecimento reacional foi observado através da representação de maiores quantidades de moléculas de oxigênio em comparação com as moléculas de ozônio. A consideração desse elemento de alta complexidade também foi observada no seguinte trecho:

“Os raios solares incidem sobre o sistema e provoca a reação de formação do ozônio pela decomposição de algumas moléculas de oxigênio [...] ao mesmo tempo, têm-se a decomposição do ozônio e conseqüente formação do gás oxigênio, porém em quantidades relativamente menores que a reação da formação do ozônio.” (A12, grifo nosso).

Essa fala além de evidenciar a consideração do favorecimento reacional, novamente revela a concepção de simultaneidade que o discente tem sobre o processo. Nas animações dos demais discentes, como já mencionado, não foram observadas tais considerações, assim como não foram elaborados filmes que

mostrassem uma “sequência” representado o comportamento do sistema no passar do dia para a noite, mas sim dois *stop motions* distintos.

Ainda com relação a animação de A12, nela também foi apontado um elemento de baixa complexidade que não foi observado em nenhum outro filme: a representação de um choque do tipo não efetivo entre uma molécula de ozônio e uma de oxigênio. No questionário, o discente reforçou essa compreensão sobre as interações entre as espécies, e também a sua visão molecular cinética, envolvidas nesse processo de transformação:

“(…) a figura 1 representa adequadamente os tipos de choques possíveis no meio reacional, visto que o movimento das espécies é aleatório e faz com que seja possível haver o contato entre A-A, A-B e B-B. No estado de equilíbrio, a figura 2 pode representar bem os possíveis choques intermoleculares, visto que, novamente, o meio reacional apresenta movimento aleatório das partículas. Assim, têm-se todas as possibilidades de choques entre os compostos (mesmo que não haja reação). ” (Q2A12, grifo nosso).

Com relação a interpretação gráfica, o discente realizou aquela leitura referente a variação das concentrações das espécies pelo tempo e inclui uma interpretação termodinâmica referente a composição de equilíbrio (que apresentava $K > 1$) demonstrada graficamente, dizendo, *“(…) posso ver que os produtos são termodinamicamente mais estáveis que os reagentes isso determina que o equilíbrio está mais deslocado para a formação do produto”*.

Com relação ao gráfico das velocidades, o discente revelou não apresentar familiaridade com ele, entretanto, ao interpretá-lo e chegou à conclusão que tal gráfico só poderia se tratar de um gráfico das velocidades de reagentes e produtos para um sistema em equilíbrio químico:

“ (…) faz muito sentido as velocidades serem as mesmas porque ai a **velocidade** de decomposição dos produtos e de formação dos reagentes **vão ser iguais** o que **determina o estado de equilíbrio dinâmico da reação** em que **quantitativamente reação não acontece**, pois a concentração de reagentes e produtos permanece igual. ” (E3bA12, grifo nosso)

O termo “igual” utilizado em sua explicação sobre as concentrações, não se referiu ao fato delas serem iguais entre si, mas da concentração de cada uma dessas espécies permanecer inalterada (podendo ser diferente uma da outra) com o passar do tempo.

Esses dados reforçam a hipótese da construção de um modelo mental significativo do conceito de equilíbrio químico no qual houve a assimilação dos elementos de alta complexidade, de maneira a permitir ao discente a compreensão desse estado reacional como reversível, simultâneo e dinâmico, possibilitando a assimilação da coexistência e manutenção quantitativa de reagentes e produtos, de maneira semelhante a A5.

4.4.1 - Algumas considerações sobre o modelo significativo

A partir dessas discussões apresentadas individualmente para as discentes A5 e A12, pertencentes a categoria modelo significativo próximo ao conceitual, buscou-se evidenciar a concepção de equilíbrio químico, bem como o nível representacional envolvido na compreensão do fenômeno.

Somado a isso, também propomos uma relação destas concepções com a visão prévia de reação química apresentada pelos licenciandos, de maneira a expor as individualidades e semelhanças desses modelos, que resultaram na classificação destes discentes nessa categoria.

Por meio dessas análises e das discussões apresentadas, na sequência ressaltamos, de maneira resumida, as principais considerações e características semelhantes dos modelos mentais construídos por eles:

1) foram observadas descrições cinéticas (movimentação, interação e choques entre as espécies) e a relação entre elas (fortemente observada nas falas de A5), bem como considerações termodinâmicas (mais presentes nas falas de A12) consideravelmente desenvolvidas, inclusive em nível molecular, para o conceito subsunçor de reação química que parece ter atuado como ponto de ancoragem para o conceito de equilíbrio químico, permitindo a compreensão significativa da reversibilidade, dinamicidade e simultaneidade desse estado, inclusive no nível molecular;

2) a compreensão significativa de que as velocidades dos processos direto e inverso são iguais e simultâneas à nível molecular por A5 e A12 permitiu aos discentes a incorporação, também significativa da coexistência e da manutenção quantitativa das espécies no meio reacional. Por isso, esses elementos de alta complexidade não apenas foram mencionados, mas também relacionados e assim explicados em diferentes momentos e em ambos instrumentos de coleta de dados adotados;

3) como consequência da discussão apresentada no item anterior (2), diferentemente dos discentes pertencentes as categorias “modelo mecânico” e “parcialmente significativo”, A5 e A12 não deram indícios da memorização da coexistência, simultaneidade e manutenção constante de reagentes e produtos. Eles não se limitaram a mencionar tais elementos a partir da influência de fatores externos (gráfico e análise/comparação de figuras);

4) a interpretação gráfica dos discentes também envolveu aquela explicação da variação das concentrações em função do tempo, entretanto também foi observada uma visão mais crítica frente aos gráficos com relação a sua potencialidade de uso, quando combinados, e associados a explicações submicroscópicas (A5) para a compreensão do conceito, bem como a interpretação da composição do sistema e evidente transmissão da informação de que se trata de um sistema em equilíbrio pois as velocidades são iguais e por isso as concentrações são constantes (A12);

6) com relação às animações elaboradas, ambos os discentes representaram a coexistência e a simultaneidade do processo. O discente A5 também representou a manutenção quantitativa das espécies, já A12 foi o único a considerar e representar o favorecimento reacional;

7) ambos os discentes apresentaram confiança e facilidade ao propor explicações para o fenômeno, e em muitos momentos envolveram explicações de causa e efeito em suas explicações e para as características do estado de equilíbrio químico;

8) essa confiança parece ser resultante da construção de um modelo significativo para o conceito de equilíbrio químico que inclui os elementos de alta complexidade. Isto possibilitou que A5 e A12 fornecessem respostas mais elaboradas, longas e com a inclusão de maiores detalhes ao expor seus pontos de vista. Essa foi uma característica marcante nesses licenciandos que também os diferenciaram dos demais alunos investigados, que apenas respondiam de maneira simples, geral e com poucas palavras aos questionamentos.

De acordo com o referencial teórico adotado, é através da construção de um modelo mental (JOHNSON-LAIRD, 1983) e da compreensão significativa de um determinado conceito (AUSUBEL et al., 1980) que o aprendiz consegue explicar, prever, demonstrar, fazer inferências e previsões sobre determinado conceito, ou

utilizando desse conceito, de maneira a permitir ao aprendiz a aplicação e/ou demonstração em diferentes situações.

Com base nas discussões apresentadas, foi possível observar que os modelos mentais externalizados por A5 e A12 permitiram a flexibilidade de aplicação e representação do conceito, incluindo os elementos de alta complexidade, frente aos diferentes instrumentos de coleta de dados, dotando os discentes de confiança e segurança ao expor suas concepções, explicando-as e atribuindo causalidades a elas na maior parte das vezes.

Para finalizar as discussões relacionadas à presente categoria, apresentamos no Quadro 4.4 uma síntese das principais características dos modelos dos discentes categorizados como “modelo significativo próximo ao conceitual”.

Modelo significativo próximo ao conceitual	
Concepção	Características gerais
Equilíbrio Químico	Concepção mais próxima ao modelo vigente, incluindo uma visão cinética-molecular consideravelmente desenvolvida, com a presença de EBC e EAC conectados.
Reação Química	Concepção prévia também consideravelmente mais desenvolvida, apresentando visões submicroscópicas envolvendo interações entre as espécies do sistema, considerando as atividades cinéticas delas.
$v_1=v_2$	O desenvolvimento considerável no nível submicroscópico da concepção de reação química permitiu a atribuição de significado a simultaneidade do processo
[] constante	A compreensão significativa da simultaneidade permitiu a atribuição de significado à manutenção quantitativa das espécies no sistema
Coexistência	A compreensão significativa da simultaneidade permitiu a atribuição de significado à coexistência

QUADRO 4. 4 - Síntese das características dos modelos mentais categorizados como significativo próximo ao conceitual, com base nos elementos norteadores de análise. Fonte: AUTORA.

Os discentes categorizados como modelo mecânico parecem representar mentalmente o conceito de equilíbrio químico como proposições verbalmente expressáveis.

Já os licenciandos A5 e A12, por terem formado um modelo mental significativo próximo ao conceitual, atribuindo significado ao conceito e as suas características, passaram a confiar nele e utilizá-lo, ao invés de ficarem dependendo

de recordar descrições verbais literais detalhadas e por isso lhe permitiram fazer inferências e representar os conceitos em diferentes situações.

Com relação ao modelo parcialmente significativo, as discentes parecem ter construído um modelo mental sobre as reações em equilíbrio, mas memorizado as características do equilíbrio químico. No entanto, é importante ressaltar que em ambos os casos, os licenciandos representaram mentalmente o conceito, sendo ou de maneira predominantemente significativa e analógica ou mecânica e proposicional.

Sendo assim, justificamos a categorização dos modelos de A5 e A12 como significativos e próximos ao modelo conceitual, apresentando como característica da aprendizagem com maior caráter significativo.

Capítulo 5 - Algumas considerações sobre o favorecimento reacional

A compreensão do favorecimento reacional também foi analisada neste trabalho, entretanto, o foco das análises conduzidas sobre essa temática não esteve limitado à análise do entendimento dos alunos frente as variações de temperatura e concentração. Mas sim em melhor compreender e investigar os modelos mentais sobre o conceito de equilíbrio expressos pelos discentes, e também sobre reação química, através da busca por argumentações que se referissem a tais conceitos químicos.

Sendo assim, o principal objetivo dessas análises foi tentar investigar como os discentes compreendem e visualizam o estado de equilíbrio a nível molecular, a capacidade de transição entre os níveis e também a aquisição dos elementos de alta complexidade (núcleo do modelo mental), através de suas manifestações referentes a essas perturbações externas.

Dessa maneira, ao atingir tal objetivo, também investigamos se a aplicação do princípio de Le Chatelier pelos discentes ocorreu de maneira predominantemente mecânica ou significativa, relacionando-a com os modelos do conceito de equilíbrio discutidos nas seções anteriores.

As questões 4 e 6 do questionário (Apêndice 2) e as questões 5 e 7 da entrevista (Apêndice 3) foram propostas para atingir esse objetivo de aprofundar a investigação dos modelos mentais sobre o conceito de equilíbrio químico construído pelos discentes a partir das interpretações e explicações fornecidas por eles referente a resposta de um sistema frente à variação da temperatura e concentração.

Na animação, conforme explicado na metodologia, o favorecimento reacional também poderia/deveria ser representado através das diferentes considerações quantitativas das moléculas de ozônio e oxigênio nos diferentes períodos do dia. Entretanto como já discutido, apenas A12 considerou e representou esse elemento em sua animação.

A avaliação da interferência da pressão foi proposta no questionário, mas a maioria dos discentes forneceram respostas evasivas, gerais e sem justificativas, por isso não foi possível verificar de fato suas concepções.

As argumentações que os licenciandos propuseram para o favorecimento reacional foram analisadas e categorizadas a partir de cada uma das questões citadas anteriormente. Além disso, foi feito o cruzamento das respostas em cada uma das questões e com os modelos mentais de equilíbrio químico elucidados

em outros momentos da etapa de coleta de dados. Os resultados foram analisados a partir do referencial teórico adotado na pesquisa e também comparados com a literatura, e assim foram construídas as categorias propostas nessa seção.

Escolheu-se apresentar os resultados e discussões envolvendo o favorecimento reacional através da categorização e discussão das respostas de todos os discentes questão por questão e juntamente, não as separando de acordo com a categorização de seus modelos mentais (mecânico, parcialmente significativo e significativo próximo ao conceitual). Acreditamos já ter esclarecido as particularidades, semelhanças e diferenças entre estes modelos de modo a permitir a melhor compreensão possível dos resultados gerais e individuais a serem, a partir de agora, apresentados. No entanto, esclarecemos que discussões mais detalhadas e, as vezes generalizadas a determinada categoria serão apresentadas conforme a necessidade.

No questionário, foi proposta uma questão contextualizada para verificar a interpretação, compreensão e aplicação do favorecimento reacional consequente da alteração da concentração das espécies por parte dos discentes. A situação escolhida foi o efeito nocivo das emissões antropogênicas do gás dióxido de carbono no equilíbrio de formação esquelética dos corais (carbonato de cálcio - CaCO_3).

Para isso, foram fornecidas todas as semi-reações de equilíbrio envolvidas (ionização do ácido carbônico e de formação do carbonato de cálcio), para que os discentes, através da interpretação e relação entre estas equações, propusessem alguma justificativa para essa problemática atual.

A questão 5 da entrevista teve como objetivo, inicialmente, verificar a interpretação e relação entre os níveis representacionais por parte dos discentes a partir do fornecimento de informações pouco detalhadas do equilíbrio químico estabelecido entre os gases N_2O_4 e NO_2 . Sendo assim, nesse momento inicial não foi fornecida aos discentes a equação química ou qualquer informação que revelasse se tratar de um sistema em equilíbrio químico, apesar da temática da entrevista já deixar essa ideia implícita.

Foram fornecidas apenas três imagens que representavam as mudanças macroscópicas desse equilíbrio frente à variação da temperatura. Essas imagens e essa reação química foram escolhidas devido estarem presentes em diversos livros didáticos consultados para o planejamento dessa pesquisa, no entanto

algo que nos surpreendeu foi o fato dos alunos (com exceção de A1) não se lembrarem de terem estudado tal sistema.

Como informação também foi fornecido que o gás N_2O_4 é incolor e o NO_2 apresenta uma coloração avermelhada/marrom e, de posse dessas informações (coloração e figuras), os discentes deveriam interpretar verbalmente cada uma.

5.1 - Variação da temperatura

As respostas dos discentes com relação ao efeito da variação da temperatura para a reação genérica endotérmica no sentido de formação dos produtos apresentada no questionário foram categorizadas de acordo com a ideia geral observada nas argumentações dos discentes e encontram-se no Quadro 5.1. As particularidades das respostas dos licenciandos pertencentes a uma mesma categoria serão evidenciadas e discutidas quando for o caso.

Categoria	Ideia geral	Discentes
Sem relação com o princípio de Le Chatelier	Sem relação com o favorecimento reacional e termodinâmica	A6, A7, A8, A9, A10, A11, A13
Relação com o princípio de Le Chatelier	Relação com o favorecimento reacional e termodinâmica	A1, A2, A4, A5
Em branco	Sem respostas	A3, A12 A14

QUADRO 5. 1 - Categorização das respostas dos discentes relacionadas ao efeito da temperatura durante o questionário. Fonte: AUTORA.

Os discentes pertencentes a categoria “sem relação com o Princípio de Le Chatelier”, como o nome sugere, não associaram a variação de temperatura com o favorecimento reacional e nem consideraram o fato das reações direta e inversa apresentarem propriedades termodinâmicas diferentes (endotérmica e exotérmica, respectivamente), todos os alunos dessa categoria correspondem aos discentes que apresentaram modelos mecânicos para o conceito de equilíbrio químico.

Na concepção desses discentes, a temperatura é um fator que irá influenciar na velocidade da reação. As falas de A7 e A9 representam bem essa concepção compartilhada por esses discentes:

“Ao esfriar a solução as moléculas levam um tempo maior para reagirem entre si, ao aquecer a reação ocorre de maneira mais rápida, há uma energia maior que favorece a quebra das interações e gerando novas, as moléculas ficam mais agitadas.” (Q4A7, grifo nosso).

“Houve um retardo na agitação das moléculas, portanto o equilíbrio demorou mais para ser atingido. Com a maior temperatura, houve uma maior agitação das moléculas e o equilíbrio foi atingido mais rapidamente.” (Q4A9, grifo nosso).

De acordo com essas explicações, é possível observar que para esses discentes quando o sistema é aquecido, independentemente de suas propriedades termodinâmicas, ocorrerá um aumento na velocidade da reação fazendo com que o equilíbrio químico seja atingido mais rapidamente. E, de maneira semelhante, quando o sistema é resfriado resultará na diminuição da velocidade da reação levando mais tempo para que esse estado reacional dinâmico seja atingido. Dessa maneira, nenhum desses discentes considerou a reversibilidade do processo frente a tal perturbação.

Essa mesma relação entre a variação da temperatura e a velocidade da reação foi observada em modelos expressos por licenciandos da Universidade Federal de Sergipe, investigados por SANTOS et al. (2013), ao justificarem que a alteração da coloração frente a variação da temperatura (diminuição, no caso), observada experimentalmente para o sistema contendo os gases tetróxido de nitrogênio e dióxido de nitrogênio, era devido a diminuição da velocidade da formação do NO₂.

JÚNIOR e SILVA (2009) relataram que 17% dos licenciandos de uma IES pública do estado de Minas Gerais também apenas afirmaram que a variação da temperatura iria alterar a velocidade da reação de formação da amônia. Esses dados condizentes evidenciam problemas e confusões referentes à interpretações e relações termodinâmicas e cinéticas sobre o efeito da temperatura no estado de equilíbrio químico, bem como sobre a reversibilidade do processo.

A discente A1 foi a única pertencente a categoria “modelo mecânico” a associar as situações apresentadas nessa questão ao favorecimento reacional, dizendo que *“na experiência 1 temos um deslocamento para a esquerda, tendo assim uma maior concentração de A₂ e B₂, na experiência 2 temos um deslocamento de equilíbrio para direita, tendo assim uma maior concentração de AB”*. A discente corretamente previu o favorecimento reacional de acordo com a interpretação coerente de que a reação direta é endotérmica.

As discentes A2 e A4, pertencentes a categoria “modelo parcialmente significativo”, também associaram a variação da temperatura ao favorecimento reacional utilizando argumentações relacionadas à termodinâmica das reações,

entretanto, diferentemente de A1, não estavam no momento da etapa de coleta estudando o conteúdo:

“A reação direta, segundo o gráfico da figura 2, é uma reação endotérmica. Ao colocar o meio reacional em um banho de gelo eu dificulto a reação, fazendo com que os choques entre A e B diminuam, produzindo menos produto, fazendo com que o equilíbrio se desloque para a esquerda.” (Q4A2, grifo nosso).

A discente disse que a variação da temperatura “dificulta” a reação, justificando essa concepção na sequência de sua resposta: *“(...) fornecendo calor para o meio reacional (...) aumenta a agitação das minhas espécies A e B, favorecendo choques efetivos, formando mais produtos, deslocando o equilíbrio para a direita.”*

Sendo assim, segundo a argumentação fornecida por A2, que se mostrou similar à de A4, o aumento da temperatura favorece a reação no sentido endotérmico devido aumentar a interação das espécies que se comportam como reagentes nesse sentido e, por estarem mais agitadas irão interagir e se chocar com maior probabilidade, formando mais produtos.

De acordo com essa justificativa é possível observar uma compreensão compartimentalizada do sistema e de como ocorre o processo, de maneira que seria possível alterar a temperatura, pressão e/ou concentração de apenas um “lado” da reação, bem como a ocorrência de choques só teriam lugar entre os reagentes ou produtos, conforme explicado por MACHADO e ARAGÃO (1996), sem que essas perturbações influenciassem também as espécies que se comportam como produtos.

Ou seja, A2 também associa o aumento da temperatura ao aumento da agitação das espécies, entretanto uma agitação compartimentalizada com base na termodinâmica da reação.

A discente A4 se atrapalhou na interpretação dos gráficos apresentados nessa questão, compreendendo que no decorrer da reação, o sistema liberava calor, aumentando assim a temperatura, propondo explicações de acordo com essa perspectiva. No entanto, suas argumentações foram semelhantes aquelas discutidas para A2, apresentando assim a concepção de compartimentalização no que refere ao efeito dessa ação externa.

A interpretação e relação entre os gráficos no questionário realizada por A5 se mostrou semelhante à de A4, ou seja, o discente também chegou à conclusão

de que a reação no sentido de formação dos produtos “AB” é exotérmica, baseando toda a sua argumentação segundo tal consideração:

“Se colocar no **banho de gelo**, a **temperatura diminui**, assim, o **equilíbrio se desloca no sentido** de formação do produto, processo **exotérmico que aumenta a T do sistema**. Ao **aquecer**, a **temperatura aumenta**, assim o **equilíbrio se desloca no sentido** da formação de reagente, processo **endotérmico que diminui a temperatura do sistema**.” (Q4A5, grifo nosso).

Nessa sua resposta é possível observar a argumentação do discente justificando a resposta do sistema frente a termodinâmica das reações direta e inversa como uma tentativa de “minimizar”, ou “anular” o efeito externo, pois, o aumento da temperatura favorecerá a reação no sentido endotérmico de maneira a absorver essa energia fornecida, resultando na diminuição final da temperatura do sistema como um todo.

A argumentação adotada por A5 em muito se assemelha às frases normalmente associadas ao princípio de Le Chatelier, como no livro de BRONW et al. (2005, p.549) através da afirmação “(...) *se um sistema em equilíbrio é perturbado por uma variação na temperatura, pressão ou concentração de um dos componentes, o sistema deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a neutralizar o efeito do distúrbio*”.

O discente se apegou a tal enunciado para justificar a resposta termodinâmica do sistema como uma forma de “minimizar” o aumento ou a diminuição do calor. No entanto, é importante dizer que o discente não apresentou a visão compartimentalizada do fenômeno

Por fim, os discentes A3, A12 e A14, pertencentes a categoria “em branco”, não responderam a essa questão. A discente A3 disse não lembrar como deveria interpretar o gráfico e por isso não conseguiria responder à questão.

O discente A12 disse verbalmente que não poderia responder devido não haver informações suficientes para fazê-lo, necessitando de mais dados. Possivelmente ele não conseguiu relacionar os gráficos e avaliar a situação apresentada por problemas na interpretação da questão e dos dados fornecidos nela. Sendo assim, a concepção desses discentes (A3, A12 e A14) com relação a variação da temperatura foi analisada por meio da entrevista, e da animação.

Na entrevista, os discentes A1, A2, A4 e A5, que compuseram a categoria “favorecimento e temperatura” (Quadro 5.2), continuaram com a associação

da variação da temperatura ao favorecimento reacional com certa interpretação termodinâmica do processo.

Já para aqueles discentes pertencentes a categoria “sem relação com o princípio de Le Chatelier” (Quadro 5.1), discutida anteriormente foi observado um cenário um pouco diferente, enquanto que através da entrevista, foi possível investigar a compreensão e interpretação de A3, A12 e A14.

No Quadro 5.2 é apresentada a categorização das explicações fornecidas por esses discentes durante a entrevista referente ao efeito da variação da temperatura para o sistema formado pelos gases N_2O_4 e NO_2 , que é também endotérmico no sentido de formação de dióxido de nitrogênio.

Categoria	Ideia geral	Discentes
Apego sensorial	Dedução visual de que a variação de temperatura desloca/favorece uma espécie	A3, A6, A8, A10, A11, A13, A14
Catalisador	Sem relação com o favorecimento reacional e termodinâmica	A7, A9
Favorecimento e temperatura	Relação com o favorecimento reacional devido o sentido endo ou exotérmico	A1, A2, A4, A5, A12

QUADRO 5. 2 - Reposta dos discentes relacionadas ao efeito da temperatura durante a entrevista. Fonte: AUTORA.

Os discentes pertencentes a categoria “apego sensorial” apenas deduziram, ao olhar para as figuras, que a variação de temperatura estaria favorecendo um ou o outro gás. Entretanto não foram observadas explicações termodinâmicas em suas argumentações, assim como no questionário. As falas dos discentes A3, A8 e A14 representam bem a interpretação desses licenciandos:

“O aumento da temperatura tende o equilíbrio para formação de NO_2 .” (E5aA3).

“(…) acho que a temperatura tá interferindo pra formação de produtos e de reagentes, no caso, eu acho que quando a gente tem o gelo aqui, então favorece a formação do N_2O_4 , quando a gente tem uma temperatura maior, favorece a reação do NO_2 .” (E5aA8).

“Me vem à cabeça que eles estão em equilíbrio e a diferença de temperatura faz um sobressair pelo outro, alguma coisa assim.” (E5aA14).

Essas explicações revelam que os discentes apenas conseguiram associar a variação de temperatura a um possível favorecimento reacional após verem as alterações sensoriais do sistema, reforçando a hipótese da construção de modelos mentais que apresentam dependência e, portanto, compreensão macroscópica.

Nas explicações dos discentes pertencentes a essa categoria, frequentemente foram utilizadas expressões do tipo “favorece”, “tende”, “predominância” e “maior concentração”, ao se referirem as espécies reagentes e produtos.

Entretanto, os desenhos propostos por A3, A6, A10, A11, A13 e A14 sugerem a compreensão de que esse “deslocamento” promove a reação em determinado sentido com a total formação da espécie favorecida, de modo que a coexistência não é mais observada e o sistema sai do estado de equilíbrio para esses alunos, sendo que apenas a figura do meio (coloração amarelada) correspondia a esse estado.

Tais considerações reforçam a hipótese da associação de equilíbrio com concentrações próximas das espécies observada nas manifestações de A8, A10, A11 e A13. O esquema proposto por A6 (Figura 5.1a), A10 (Figura 5.1b), A13 (Figura 5.1c) representa bem os desenhos desses discentes.

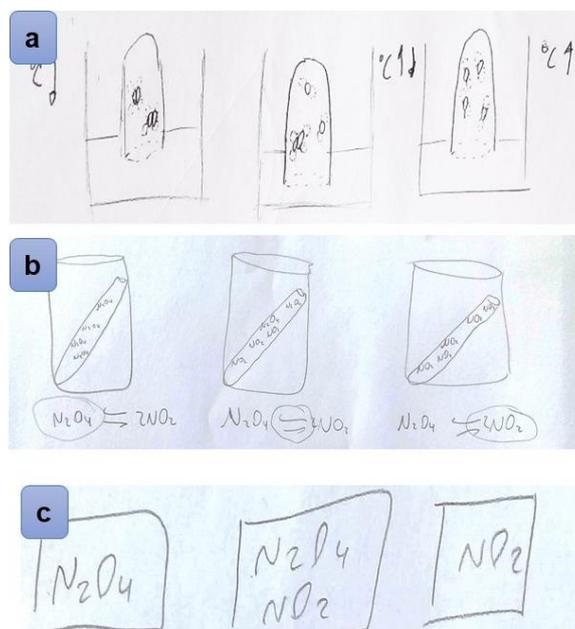


FIGURA 5. 1 - Representações interpretativas das figuras apresentadas na questão de número 5 da entrevista elaboradas por A6(a), A10(b) e A13 (c).

Ainda com relação aos desenhos desses discentes (A3, A6, A10, A11, A13 e A14), apenas A6 propôs um desenho no qual as espécies foram representadas a partir de uma consideração molecular. Os demais utilizaram da representação simbólica, reforçando e evidenciando aquela limitação do entendimento do conceito de reação química nesse nível, hipótese reforçada pelas explicações do tipo “*ixi, complicou, hein?!*”, “*nossa, difícil, nunca fiz isso*” ou “*nunca pensei nisso*”, observadas enquanto elaboravam suas representações.

Na investigação sobre os modelos mentais de licenciandos da UFS realizada por SANTOS et al. (2013), através das argumentações destes frente a observação de um experimento envolvendo o equilíbrio entre estes mesmos gases utilizados, os autores observaram que alguns alunos também consideraram que com o aquecimento apenas o gás NO_2 era formado, enquanto que com o resfriamento apenas o gás N_2O_4 . Assim, estes discentes também não consideraram a coexistência no que se refere ao favorecimento reacional.

Resultados condizentes foram observados em licenciandos investigados por SANTOS et al. (2015) frente a situação experimental semelhante àquela descrita para SANTOS et al. (2013).

Logo, em concordância com os trabalhos desses autores, observamos que os modelos mentais construídos por esses discentes são capazes de compreender que houve a formação de espécies diferentes frente a variação de temperatura, porém, tais modelos apresentam falhas no que diz respeito a coexistência entre as espécies, uma característica fundamental desse estado.

Em seu desenho e explicação, A8 também revelou a concepção de que apenas a figura do meio “*tá no equilíbrio assim (...) tem assim a mesma quantidade basicamente*”, enquanto as outras, devido o favorecimento de uma espécie retirou o sistema desse estado de equilíbrio, resultando na predominância de um dos gases e que apesar delas ainda coexistirem, não se tratava mais do equilíbrio químico devido não estarem na mesma concentração. É importante ressaltar que essa mesma concepção alternativa já foi observada nas falas de A8 em outros momentos, conforme já discutido.

Com relação as discentes A7 e A9, pertencentes a categoria “catalisador”, ambas novamente não associaram a variação de temperatura com o denominado “deslocamento do equilíbrio”, mas revelaram aquela concepção

observada no questionário sobre a influência da temperatura na interação entre as espécies e na velocidade da reação:

“(…) aqui [banho de gelo] a reação tá com uma velocidade muito menor ou até não tá ocorrendo reação, aí conforme vai ter aumento da temperatura vai ter aumento da interação das espécies e ela vai ficar nessa cor, vermelha.” (E5bA7, grifo nosso).

Essas discentes interpretaram as figuras como uma sequência reacional em que os gases envolvidos se comportavam como reagentes e então estariam interagindo entre si até atingir o estado de equilíbrio químico, o que aconteceu na última figura evidenciado pelo aparecimento da coloração marrom/avermelhada.

SANTOS et al. (2015) relataram que alguns discentes da UFS também se apegaram ao aspecto sensorial (mudança de coloração) para predizer em que momento essa mesma reação, observada por tais discentes experimentalmente, estaria no estado de equilíbrio químico.

Vale lembrar que A7 e A9 foram as únicas a manterem a concepção de que a variação da temperatura influenciaria na velocidade do sistema em atingir o estado de equilíbrio químico, interpretando esse fenômeno novamente como um “catalisador” reacional.

No entanto, as falas de A7 e o desenho proposto por A9 (no qual representou a coexistência dos gases, mesmo que em dúvida) revelaram contradições sobre tal interpretação, pois ora expressaram verbalmente que havia sido formada uma nova espécie (sem saber qual era) a partir da interação dos gases atingido o equilíbrio químico quando o sistema apresentou a coloração marrom, e ora como se esse equilíbrio fosse formado por apenas ambos os gases.

Esses dados revelam a confusão e contradição por parte das discentes, resultantes da construção de modelos mentais não tão consistentes, bem como da possível reelaboração destes ao se depararem com a situação e propor tais explicações.

Para encerrar as discussões dessas duas categorias, é importante dizer que a maioria desses discentes associaram de imediato as imagens ao deslocamento de equilíbrio químico, fornecendo explicações simplistas e as vezes automáticas conforme já apresentadas.

Entretanto, devido ao tema da entrevista e da pesquisa envolver o conceito de equilíbrio químico, e os alunos terem esse conhecimento, tais associações

já estavam implícitas. Mesmo assim, houve discentes que não o fizeram de imediato, sendo necessária a minha intervenção explicando as situações representadas em cada figura (sistema formado pelos gases expostos a diferentes situações).

Além disso, tais discentes não conseguiram explicar, utilizando seus modelos mentais, como ocorreriam tais interações para formação dos gases, se limitando a dizer apenas que determinada espécie seria ou não favorecida.

Semelhantemente às essas manifestações, FATIMAH (2018) relatou que os alunos de ensino médio também apresentaram dificuldades em explicar as razões pelas quais as mudanças ocorrem quando há variação de temperatura nesse mesmo sistema em questão, não conseguindo relacionar a variação de temperatura com a entalpia, apesar de alguns conseguirem prever o deslocamento.

Os discentes pertencentes a categoria “favorecimento e termodinâmica”, continuaram com a mesma concepção observada no questionário.

A discente A1, conforme já discutido, estava no último ano do curso, já atuava como professora na rede básica e estava, no momento da etapa de coleta de dados, lecionando o conteúdo para seus alunos. Ao olhar para as figuras apresentadas nessa questão, ela revelou que havia usado tais imagens “*para falar de deslocamento do equilíbrio, que você pode ver do incolor para o avermelhado*”.

Sendo assim, a discente associou o favorecimento reacional com a termodinâmica da reação, o que também explica a consideração e relação desses fatores observadas no questionário:

“ O N_2O_4 é exotérmico, pra deslocar pra lá então diminuo a temperatura, entalpia é exotérmica... e pra vim pra cá é endotérmico, por isso que quando ganhou calor né?! Aumentou a temperatura ficou vermelhinha. ”
(E5bA1, grifo nosso).

Porém, ambas as situações eram familiares a A1, visto que estava estudando e explicando o conceito. No entanto, ao se deparar com uma situação não familiar, no *stop motion*, ela não representou o favorecimento e nem cogitou a hipótese, sugerindo a aplicação mecânica do princípio de Le Chatelier.

Somado a isso, quando foi solicitado que representasse aquilo que visualizava, a discente revelou que não se sentia confiante para fazer isso e nem sobre seu domínio do conteúdo, expressando sua frustração através da indagação que fez a si mesma: “(...) como que eu dou aula disso e eu mó pangona? ”

O desenho proposto pela discente (Figura 5.2) revelou que ela considerou ambas as espécies no meio reacional. Entretanto eles chamaram nossa atenção para o fato da discente não alterar a quantidade de $N_2O_4(g)$ do segundo desenho para o terceiro, alterando apenas a de $NO_2(g)$ que era a espécie favorecida naquele sentido, e de fazer o mesmo procedimento ao passar do segundo para o primeiro, alterando apenas a quantidade de $N_2O_4(g)$, espécie favorecida naquele sentido:

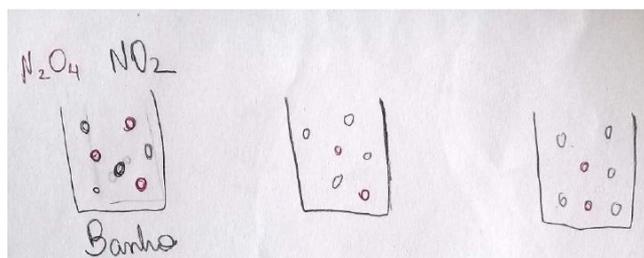


FIGURA 5. 2 - Representações interpretativas das figuras apresentadas na questão de número 5 da entrevista elaborada por A1.

Sendo assim, A1 parece associar o deslocamento à modificação nas concentrações apenas das espécies que serão favorecidas, mantendo constante as demais, como se fosse possível alterar às concentrações de produtos e/ou reagentes, sem interferir nas dos reagentes e/ou produtos, remetendo aquela concepção de sistema compartimentalizado, discutida para A2 e A4.

As discentes A2 e A4, pertencentes a categoria “favorecimento e temperatura”, novamente relacionaram alterações no estado de equilíbrio frente a variação da temperatura, conforme exemplificado na seguinte fala de A2:

“(…) a **baixa temperatura eu tenho N_2O_4** , mas daí a **temperatura ambiente ele vai se decompor e formar o NO_2** (...) conforme eu aumento a temperatura... ele se decompõe e forma o outro, daí eu acredito que se eu diminuir ele vai, ele **vai reagir e formar o que tava antes.**” (E5aA2, grifo nosso).

Nessa explicação novamente é evidenciada a ideia de sistema que “vai e volta”. Somado a isso, o desenho proposto por A2 (Figura 5.3) revela a concepção de que o deslocamento do estado de equilíbrio promove a formação total da espécie favorecida observada em alguns discentes pertencentes a categoria discutida anteriormente e por outros trabalhos, como SANTOS et al. (2013) e SANTOS et al. (2015).

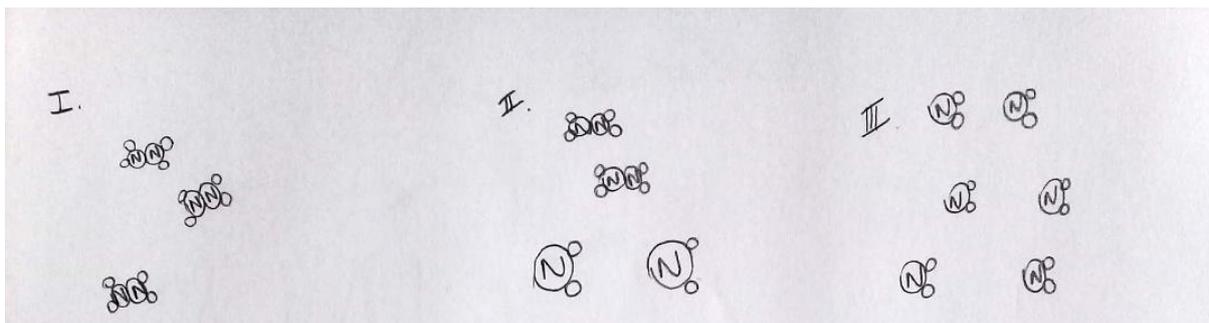


FIGURA 5. 3 - Representações interpretativas das figuras apresentadas na questão de número 5 da entrevista elaboradas por A2.

Diferentemente de A2, a discente A4 considerou a coexistência das espécies em todas as figuras (FIGURA 5.4), representando, ainda que de maneira simplista pela simples utilização de “bolinhas” maiores concentrações de gás N_2O_4 na primeira, concentrações próximas na segunda, e maiores concentrações de NO_2 na última, acompanhadas da seguinte explicação:

“(…) o equilíbrio tendeu aquele que favoreceu no caso da temperatura, se foi colocado no banho de gelo, é bom se esse aqui é incolor, aí então tendia pra formar mais, ter maiores espécies de N_2O_4 , quando a temperatura tá baixa, quando a temperatura tá alta mais de NO_2 .” (E5bA4, grifo nosso).

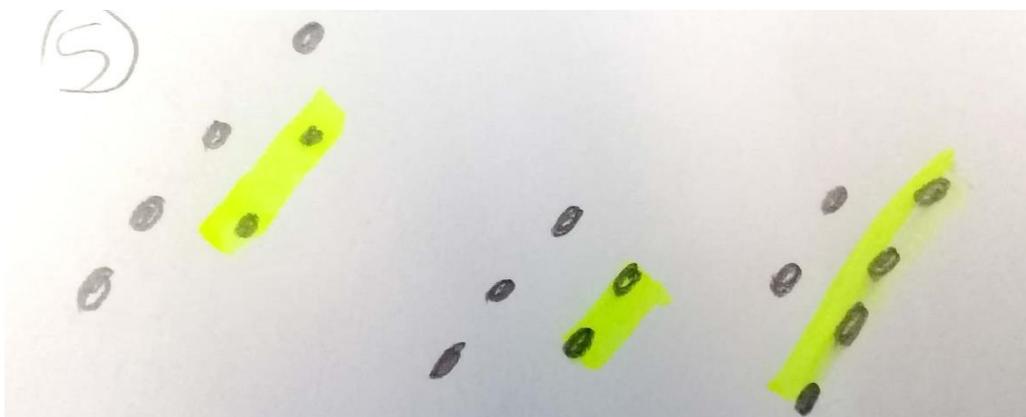


FIGURA 5. 4 - Representações interpretativas das figuras apresentadas na questão de número 5 da entrevista elaboradas por A4 (as bolinhas marcadas em amarelo correspondem ao NO_2).

O discente A5 também foi classificado nessa categoria devido ter associado a mudança de temperatura com o favorecimento reacional. No entanto, suas argumentações e interpretações como um todo do processo foi o que de fato mais chamaram a nossa atenção, pois reforçaram a nossa hipótese da construção de um modelo mental significativo do conceito de equilíbrio químico, bem como a compreensão de que a temperatura irá influenciar o sistema no sentido de favorecer

determinado processo de acordo com a termodinâmica, mesmo que aparentemente tenha apresentado dificuldades em explicar o motivo.

O trecho apresentado a seguir foi retirado das explanações espontâneas feitas pelo discente ao se deparar com as figuras e com a informação inicial referente à coloração das espécies gasosas:

“(…) olhando a imagem a **primeira coisa que eu iria relacionar** é... ver que **tá ocorrendo, ocorreu** né?! **Alguma transformação no sistema**, então eu tinha um sistema que **tava incolor, de repente** o sistema apresentou uma **coloração amarelada marrom, daí ficou vermelha**, daí pensando **em termos da reação**, é... Poderia pensar, bom, então, é... **N₂O₄ tá se transformando em NO₂**(...)” (E5aA5, grifo nosso).

As falas de A5 revelam que o discente estava naquele momento tentando interpretar cada figura, pensando em voz alta, como evidenciado pelas pausas utilizadas na formulação e organização de seu pensamento, revelando ter sido aquele o primeiro contato do discente com o sistema em questão.

Porém, devido A5 ter construído um modelo mental consideravelmente desenvolvido, segundo a nossa hipótese, do conceito prévio de reação química, com interpretações e visualizações mentais também no nível submicroscópico do conceito, o discente conseguiu propor uma explicação inicial coerente para o sistema com base nas informações dadas até o momento, conforme observado no seguinte trecho referente a continuação de sua explanação espontânea:

“(…) a **primeira imagem** eu teria meu sistema, **bastante N₂O₄**, por exemplo, poderia **tá no início da reação**, por exemplo, ai **passou um determinado tempo, formou um pouco de NO₂**, por exemplo, então já **apresentou uma coloração um pouquinho marrom**, ficou amarelado, ai **depois mais um tempo, opa uma maior quantidade de N₂O₄ se transformou em NO₂** por **isso que ficou uma cor mais avermelhada**, então em termo de reação, essa seria a primeira ideia que viria a minha mente (...)” (E5aA5, grifo nosso).

Na sequência da análise das figuras, A5 começou a se questionar sobre a possibilidade da reação se tratar de um equilíbrio químico e tentou buscar alguma informação nas imagens para chegar em alguma conclusão:

“(…) essa foi a primeira coisa que pensaria, **depois eu começaria a pensar em termos de equilíbrio químico**... o que que essas três imagens aí poderiam relacionar? Então **o primeiro estágio seria idêntico**, no **segundo eu diria então ô, o sistema atingiu o um determinado equilíbrio** ai do **segundo pro terceiro pode ser que ocorra uma ação externa** ai que

provoque, que **faça com que o meu estado de equilíbrio seja rompido** (...) então o **princípio de Le Chatelier**.” (E5aA5, grifo nosso).

Esse trecho da fala de A5 reforça hipótese de que o discente estava raciocinando sobre o sistema naquele momento e estava utilizando seu modelo mental para isso, tentando buscar nas imagens alguma informação que o ajudasse na conclusão do pensamento, que de fato ocorreu quando associou a alteração da coloração como um indicativo de alteração no favorecimento reacional devido a variação da temperatura:

“(...) então **como dá pra ver**, primeiramente tem aqui o gelo e a temperatura ambiente, então **realmente houve uma alteração de temperatura** no meu sistema **que acabou alterando**, né, o **estado de equilíbrio**.” (E5aA5, grifo nosso).

A5 concluiu, através das imagens e das informações fornecidas pelas imagens, bem como aquelas fornecidas no início da questão, que se tratava de um equilíbrio químico que estava sofrendo ação da temperatura.

Entretanto, diferentemente dos outros discentes que também fizeram tal associação, A5 antes de chegar à essa conclusão, passou por um processo de interpretação que exigiu aplicação de seu modelo mental sobre o conceito subsunção de reação química e de equilíbrio químico, revelando uma boa transição entre os níveis representacionais. Os outros alunos, em sua maioria, automaticamente já associaram ao equilíbrio químico, pois como citado, tal informação estava implícita na temática da entrevista.

Na sequência, foi então fornecida ao discente a equação química envolvida no processo, que o levou a confirmar sua interpretação apresentada anteriormente e dizer que se por acaso tal equação já tivesse sido fornecida desde o início, pensaria diretamente no equilíbrio químico e tentaria analisar o motivo da variação da coloração com base em tal teoria, explicando ao olhar para a equação “*fica totalmente evidenciado o equilíbrio químico*”, fazendo-o novamente pensar naquele sistema cinético molecular já descrito.

Após a confirmação de se tratar de uma reação em estado de equilíbrio químico frente a variações de temperatura, o discente propôs uma explicação para cada figura. Diferentemente da maioria dos licenciandos pesquisados, o discente considerou, assim como A4 e A12, que o favorecimento reacional não promove a

formação total de uma espécie, de maneira que elas ainda coexistirem em um novo estado de equilíbrio químico:

“(…) no **primeiro caso, reação ainda não tá acontecendo** então eu tenho **N_2O_4** no meu sistema, **supondo que eu ainda não comecei a reação** [...] num **segundo momento**, que é a imagem um pouquinho amarelado, eu já **tenho uma certa concentração**, uma certa quantidade de **NO_2** no meu sistema (...) daí **no meu último sistema**, a concentração teve se alterado um pouquinho, **uma concentração de NO_2 ficou um pouquinho maior que a concentração de N_2O_4** , que diminui mais um pouquinho o sistema apresentou uma coloração mais avermelhada aí.” (E5aA5, grifo nosso).

Com base nessa resposta é possível observar que o discente não considerou a primeira imagem apresentada na questão como um favorecimento reacional no sentido de formação do gás tetróxido de nitrogênio (processo exotérmico), mas sim como o início reacional, por isso propôs que haveria apenas esse gás.

A12, ao propor uma análise das figuras com base nas informações referentes às espécies envolvidas e em suas colorações, concluiu inicialmente que o meio reacional favorece a formação de dióxido de nitrogênio, evidenciado pela mudança de cor, deslocando o equilíbrio para a formação desse gás, ou seja, inicialmente o discente também já relacionou a situação com o equilíbrio químico:

“Hum... olha **pensando nisso se o enunciado fala que o NO_2 possui uma coloração avermelhada e marrom e que o N_2O_4 incolor**, eu posso pensar que **o meio tá favorecendo, ele tá deslocando o equilíbrio** [...] no meio (segunda figura) eu tenho uma mistura dos dois compostos, claro, em concentrações não posso quantizar isso e aqui (primeira figura) eu tenho a formação total do N_2O_4 , que é incolor e aqui (última figura) praticamente 100% de NO_2 .” (E5aA12, grifo nosso).

Inicialmente o discente A12 apresentou a mesma concepção de alguns discentes pertencentes as categorias “modelo mecânico (A3, A6, A7, A8, A9 e A10)” e “parcialmente significativo (A2)” em que o deslocamento do equilíbrio promove a formação total de uma espécie em detrimento de outra. Mas logo na sequência o próprio discente se corrige explicando que ambas as espécies estariam presentes em todas as três situações apresentadas, porém em quantidades diferentes de acordo com o favorecimento reacional, o que está de acordo com sua animação do *stop motion*, revelando que o aluno possivelmente tenha se expressado mal:

“a gente tem (primeira figura) ainda o NO_2 e aqui (última figura) a gente tem predominantemente NO_2 e traço de N_2O_4 . E no meio eu diria, claro é impossível afirmar, mas eu diria concentrações parecidas de NO_2 e N_2O_4 (...)” (E5bA12, grifo nosso).

O discente também se referiu à possível presença das espécies em concentrações iguais ao apontar a segunda imagem, entretanto assim o fez devido à coloração amarelada, ou seja, como se tratasse de uma cor “média” entre o transparente de um gás, e o vermelho do outro.

No entanto, diferentemente dos outros discentes, como citado, A12 considerou que em todas as figuras haveria o estado de equilíbrio químico, com as concentrações de reagentes e produtos dependentes do favorecimento reacional.

Nas falas de A5 e A12 é possível observar argumentações e raciocínio que não entraram em contradição, mas que iam, ao decorrer de suas explicações, se tornando mais claros evidenciando a formação de modelos consistentes no que diz respeito a interpretação do fenômeno de equilíbrio químico, mesmo com a dificuldade e possível “memorização” do efeito da temperatura sobre o sistema.

5.2 - Variação da concentração

A compreensão dos licenciandos sobre a variação da concentração, conforme citado, foi analisada no questionário e na entrevista. Durante o questionário, nenhum dos discentes pertencentes a categoria “modelo mecânico” conseguiu propor respostas acompanhadas de explicações para o efeito das emissões antropogênicas de gás dióxido de carbono na formação da estrutura esquelética dos corais levando em consideração o conceito de equilíbrio químico, mesmo tendo sido fornecidas as semi-reações envolvidas no processo.

Esses discentes (com exceção de A7, A13 e A14), se limitaram a afirmar que o efeito nocivo dessas emissões “é devido ao deslocamento para formação de carbonato”. Eles não justificaram esse deslocamento e a relação com tais emissões, sugerindo a aplicação direta do princípio de Le Chatelier através da análise apenas da reação de formação de $\text{CaCO}_{3(s)}$, ou então que “(...) com uma maior quantidade de dióxido de carbono na água, o equilíbrio tende para a formação dos produtos, produzindo dessa forma, uma maior quantidade de H_2CO_3 na água”, mas não explicando as consequências disso. Ou seja, esses licenciandos não conseguiram relacionar ambas as reações apresentadas.

A discente A7 forneceu uma resposta que não estava relacionada com a temática, dizendo que “*os corais respiram e se houver excesso de CO₂ as transformações que ele realiza para se manter estarão ameaçadas*”. Já A13 e A14 não responderam a essa questão.

Esses dados revelam a dificuldade desses alunos em interpretar e aplicar o conceito de equilíbrio químico, em específico o princípio de Le Chatelier, a uma situação diferenciada que exigia mais do que olhar para equação química geral e prever qual seria o lado favorecido.

Para responder a essa questão os alunos precisariam no mínimo interpretar a problemática, relacioná-la com o conceito de equilíbrio químico e de reações ácido-base, analisar, compreender e correlacionar as semi-reações envolvidas e assim aplicar, de maneira consciente, o princípio de Le Chatelier. Ou seja, exigia a presença da articulação no mínimo de modelos consistentes de reação química, equilíbrio químico, equilíbrio ácido e favorecimento.

As discentes A2 e A4, pertencentes à categoria “modelo parcialmente significativo”, propuseram explicações semelhantes entre si e coerentes relacionadas à problemática apresentada, conforme evidenciado na fala de A2:

“O equilíbrio da formação da estrutura esquelética sofrerá perturbação pois os íons CO₃²⁻ irá reagir com o ácido presente na água, o que diminuirá sua concentração e deslocará o equilíbrio para a esquerda, não favorecendo a formação do recife de corais, pelo contrário.” (Q7A2, grifo nosso).

Entretanto, ambas as alunas pareceram não considerar a presença natural de gás carbônico e das espécies formadas pelo equilíbrio de ionização do ácido formado nas águas oceânicas, não encarando as emissões antropogênicas como um fator a alterar o equilíbrio natural já existente.

Além disso, também não foram observadas explicações relacionando diretamente ambas as semi-reações, nem deixaram claro que haveria um aumento nas concentrações de íons hidrônios que reagiriam com os íons carbonato consumindo-os, semelhantemente aos discentes classificados na categoria discutida anteriormente.

Com relação aos discentes A5 e A12 (modelo significativo próximo ao conceitual), ambos apresentaram problemas ao responder essa questão. O discente A5 apresentou dificuldades em compreender a situação, não conseguindo propor uma

explicação coerente para o efeito nocivo do aumento das concentrações de $\text{CO}_{2(g)}$ no equilíbrio de formação dos corais.

Segundo ele, o aumento desse gás resultará na maior formação de ácido carbônico, resultando no aumento da concentração de íons carbonato, que está correto, porém finalizou sua explicação dizendo que em decorrência desse processo, os íons CO_3^{2-} serão mais solvatados pela água. Ou seja, A5 não considerou o aumento da formação dos íons H_3O^+ .

Já o discente A12 propôs uma resposta generalizada de que “o aumento exagerado nas quantidades de CO_2 na atmosfera provocam a formação de ácido carbônico que libera prótons na água e acidifica os oceanos”, não explicando a consequência desse aumento da acidez das águas e relação com o equilíbrio de formação dos corais.

Ao comparar as respostas fornecidas por A5 e A12 nessa questão, com aquelas já discutidas anteriormente, é possível observar o uso de respostas curtas e gerais, não características do perfil observado nas demais respostas, evidenciando que possivelmente a compreensão do favorecimento reacional pelos discentes não seja desenvolvida o suficiente para permitir aplicação ao problema apresentado ou então problemas de interpretação da situação.

Os autores JÚNIOR e SILVA (2009) também propuseram aos licenciandos de uma IES uma questão que exigia a aplicação do princípio de Le Chatelier a uma situação não comum. Essa questão envolveu o equilíbrio de um indicador ácido representado pela equação: $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$, que apresenta coloração vermelha na forma protonada e azul na desprotonada. Foi solicitado aos alunos que dissessem o que iriam observar na solução se fosse adicionado NaOH em excesso, ou seja, trata-se de uma situação semelhante, em termos de aplicação do princípio, adotada no nosso trabalho.

Os autores revelaram que 64% dos licenciandos disseram que a solução ficaria azul e utilizaram como argumento o fato de que a adição de NaOH consumiria os íons H^+ , causando o deslocamento de equilíbrio para a direita, consumindo HA e produzindo íons A^- , responsáveis pela cor azul, 14% apenas disseram que a cor ficaria azul, mas sem justificar, 16% incorretamente disseram que a solução iria ficar vermelha e 6% não responderam à questão (JÚNIOR e SILVA, 2009).

Logo, em concordância com nosso trabalho, esses dados (JÚNIOR e SILVA, 2009) evidenciam a possível dificuldade dos discentes em aplicar o princípio de Le Chatelier e utilizar argumentos não evasivos em situações diferenciadas.

No entanto, conforme AUSUBEL et al. (1980) argumentam, o fato do aprendiz não conseguir resolver um determinado problema diferenciado, não implica necessariamente que ele o tenha memorizado, visto que outras habilidades são necessárias, além da compreensão.

Somado a isso, a resolução dessa questão, conforme citado, exigia a articulação de diferentes modelos mentais e, a pré-análise do questionário também sugeriu que os discentes sentiram dificuldades em responder àquela questão.

Portanto, a fim de melhor investigar a compreensão e a capacidade de argumentação dos discentes frente a este princípio e de como visualizavam o sistema, além de verificar se o motivo envolvido foi o fato de se tratar de uma situação incomum, ou se tal dificuldade estava atrelada a limitação de compreensão e aplicação do que diz o princípio de Le Chatelier (e possível memorização), na entrevista esse mesmo fenômeno também foi investigado, porém foi proposta uma situação um tanto quanto familiar.

Sendo assim, as argumentações dos discentes sobre a resposta do equilíbrio químico $A + B \rightleftharpoons C + D$, frente a uma nova adição de B foram categorizadas e estão apresentadas no Quadro 5.3.

Categoria	Ideia geral	Discentes
Obstáculo animista	Desloca para produto devido a necessidade de consumir o excesso de reagente	A1, A4, A8, A10, A11, A12, A13 e A14
Reagente limitante	Nada acontece, pois, o reagente A irá limitar a reação	A2, A3, A6, A7 e A9
Próximo ao modelo conceitual	Explicações com base em aspectos cinéticos	A5

QUADRO 5. 3 - Respostas dos discentes frente a variação da concentração no questionário. Fonte: AUTORA.

Os discentes classificados na categoria “obstáculo animista” conseguem corretamente prever que o aumento da concentração de um dos reagentes iria favorecer a formação de produtos.

No entanto, utilizaram como justificativa a “necessidade” do sistema em consumir o excesso de B adicionado e/ou voltar para o estado de equilíbrio. Essas respostas justificam a nossa escolha para o nome da categoria, uma vez que estão relacionadas ao obstáculo epistemológico animista (BACHELARD, 1996), como evidenciado na fala de A10:

“Hum, ele vai se deslocar para o produto, porque **a reação precisa entrar em equilíbrio então se tem mais de alguma coisa, ela vai tentar consumir esse reagente pra formação de produto**, então... a reação tende a equilíbrio então se tem mais de alguma coisa **ela vai tentar estabilizar isso a partir do deslocamento do equilíbrio pra um determinado lado**, então se você colocar mais reagente, você vai induzir a formação de produto.” (E7cA10, grifo nosso).

A discente A10, assim como os demais pertencentes a categoria “modelo mecânico”, apresentou dificuldades em interpretar e explicar o favorecimento reacional em todos os momentos da coleta de dados, dizendo “(...) *eu não consigo entender direito o que acontece, mas eu consigo entender que o equilíbrio tá deslocado...*”, continuando esse desabafo, revelou que até o momento em que se encontrava na graduação “*eles [professores] explicam equilíbrio químico mais na parte simbólica... Eu consigo interpretar a equação, o deslocamento na parte simbólica*”, evidenciando possíveis problemas associados a formação inicial desses licenciandos e a aplicação memorizada do princípio de Le Chatelier.

A11, também pertencente a essa categoria, novamente externalizou sua concepção simplista de reação química, considerando a possibilidade de haver formação de reagentes com a dependência de apenas 1 dos reagentes, sem ser necessário ocorrer interação entre ambas espécies:

“(...) é que aqui no caso, **não sei de quem é de quem...** ah não sei acho que é isso [representando que adição de mais B aumentaria a formação de apenas D]. **O sistema deslocou pra formação de produto, porque foi adicionado mais reagente...** o A, acho que continuou igual, não sei, e C e D acho que se mantém, também.” (E7A11, grifo nosso).

Essa resposta da discente, que se demonstrou semelhante a fornecida por A8, também reforça a aplicação mecânica do princípio de Le Chatelier e a não compreensão do que ocorre no sistema com as demais espécies ao ser adicionado apenas um dos reagentes pois considera que haverá o deslocamento para formação dos produtos.

Porém, ao mesmo tempo A11 considera que as concentrações deles, e também do outro reagente, se manterão constantes, sem alterações. Novamente são observadas contradições e/ou incoerências argumentativas, reforçando a hipótese da construção de modelos inconsistentes.

Os discentes da categoria “obstáculo animista” apenas se referiram às outras espécies do sistema após serem questionados sobre o que aconteceria com elas.

Com exceção de A1 que disse “*a concentração de A ela diminui também porque vou precisar de A com B para formar C e D*”, e de A4, os demais licenciandos tiveram dificuldades em saber o que aconteceria com as espécies no sistema, não sabendo ao certo responder a esse questionamento, reforçando a aplicação automática do princípio de Le Chatelier.

A discente A4 (modelo parcialmente significativo) foi classificada nessa categoria devido suas argumentações também relevarem a presença do obstáculo epistemológico animista:

“(…) fiquei com muito B, B demais e ainda vou ter A sobrando, então, eu acho que formaria mais C e D até o momento que não teria mais o A pra reagir com o B. Pensando que, então a quantidade de A foi colocada certinho pra reagir [...] você tá dando mais reagente, ele tem que consumir, então vai formar mais produto.” (E7cA4, grifo nosso).

Sua argumentação permite observar a consideração da coexistência das espécies ao sugerir que ainda possui “*A sobrando*” e também, ao utilizar a expressão “*quantidade de A foi colocada certinho pra reagir*”, que todos os reagentes são consumidos por estarem presentes no meio em quantidades iguais aos coeficientes estequiométricos.

Semelhantemente, o discente A12 previu corretamente a resposta do sistema frente adição de mais B, mas diferentemente dos discentes discutidos até o momento, explicou espontaneamente o que aconteceria com a concentração de todas

as espécies, porém, não conseguiu propor uma explicação satisfatória para o favorecimento:

“(…) como a **reação é reversível, o sistema vai tender a minimizar** essa, a **perturbação** que eu fiz no sistema, então assim ele **vai pegar uma quantidade de B, ele vai reagir com A pra formar C e D, justamente para minimizar a perturbação que eu fiz no sistema.** Então nesse caso adicionei B e esse B vai reagir com A, **como não mexi com o A e você vai consumir** [...] mas aí **sempre lembrando que ainda vai restar uma quantidade de A, B não consigo consumir tudo e aumentando as concentrações de C e D.**” (E7cA12, grifo nosso).

Os discentes pertencentes a categoria “reagente limitante”, evidenciaram a memorização do Princípio de Le Chatelier através da tentativa automática inicial de utilizá-lo para explicar a situação apresentada, chegando a posterior conclusão equivocada de que nada aconteceria no sistema devido ao reagente A, que não foi adicionado juntamente com B, limitar a reação conforme a fala de A3:

“Nossa, **agora buguei um pouquinho, nossa buguei real... eu sei que se eu tiro eu promovo mais aquele lado, mas se eu aumento esqueci... se eu aumento deixo mais desse lado, porque não tem porque reagir, mas eu não sei desenhar**, eu acho que não sei desenhar... eu pensei que **o B vai ficar lá porque ele não tem com quem reagir porque ele vai atrapalhar C e D**, pensei em alguma coisa assim, **não sei...**” (E7cA3, grifo nosso).

Essa explanação claramente evidencia a memorização desse princípio e a aplicação limitada deste em prever apenas o que ocorre a partir da retirada de espécies. Em sua argumentação, A7 também revelou dificuldades em compreender o fenômeno e a confusão que estava em sua mente:

“Aqui tá me embaralhando toda já... aí se eu colocar mais B? [...] o **sistema não vai tá mais no equilíbrio e vai**, como se fosse... **o reagente limitante vai ser o A...** enquanto tiver A vai reagir com o B.... aí vai tipo... **sobra B na solução... vai ter muito B pra pouco A, aí não vai formar..** é aí, alguns B não vão formar produto, vai ter um... é um reagente limitante que vai ser o A pra ocorrer a reação.” (E7cA7, grifo nosso).

A discente A2 também se demonstrou confusa ao responder essa questão:

“Vai formar mais C e D. Eu tô pensando só como vai ser.... acredito que seja assim **porque daí ele vai tentar consumir o B pra voltar pro equilíbrio.** Porque eu coloquei mais, mais reagente aí eu, eu, eu tirei ele do equilíbrio, **daí ele vai tentar fazer de tudo pra voltar pro equilíbrio(...**” (E7cA2, grifo nosso).

Nessa resposta espontânea é possível observar a aplicação automática do princípio de Le Chatelier, revelando a memorização deste, o que justifica a conclusão que a discente chega após ser questionada sobre o que aconteceria com a concentração do reagente "A":

"(...) continuou a mesma? Mas não era pra continuar? A de C e D aumentou, a de A eu tô meio confusa agora... é a de A era pra... teria que ter diminuído então, porque eu só aumentei o B... "A" teria então que continuar sendo consumido pra formar o C e D?! Eu não... e agora?! Eu acho que só ia poder formar C e D se tivesse mais A também, se você colocou mais B não vai fazer diferença, tô confusa agora. " (E7cA2, grifo nosso).

A graduanda finalizou sua resposta sem conseguir responder ao certo o que acreditava que aconteceria com o sistema. Entretanto, ao decorrer desse processo conflitante que se deparou ao responder esses questionamentos, foi possível observar a compreensão de que não é possível formar produtos sem a interação de ambos os reagentes reforçando a hipótese da construção de um considerável modelo prévio de reação química e da coexistência, mas acompanhada daquela mesma ideia de consumo total dos reagentes discutida para A4.

De acordo com JOHNSON-LAIRD (1983) é por meio dos modelos mentais que o sujeito descreve, explica os fenômenos e situações, e nesse processo ele acaba modificando e reaplicando seu modelo mental de acordo com a situação em que se depara e das necessidades exigidas em tal situação. Esse processo se repete em sua mente até que o indivíduo chegue a uma resposta, explicação ou conclusão, que a princípio atenda a suas necessidades.

Levando-se em consideração essas características e esses processos, bem como as argumentações e conclusões desses discentes, podemos inferir que tais licenciandos construíram modelos mentais inconsistentes e incompletos para o conceito de equilíbrio químico e que memorizaram o princípio de Le Chatelier.

Quando solicitado que refletissem sobre o sistema e o fenômeno, recorreram a argumentações que naquele momento faziam sentido para si, mesmo que não condizentes com aquelas esperadas segundo o modelo vigente ou insuficientes para de fato explicar o fenômeno.

Além disso, as falas desses alunos, representadas por A2, A3 e A7, também revelarem um processo de reformulação mental pelo qual estavam passando

ao serem questionados sobre o sistema, revelando que não estavam acostumados a pensar, e nem construíram seus modelos levando em consideração o sistema como um todo, a nível molecular.

Suas argumentações também elucidam problemas conceituais relacionados à distinção entre o fenômeno de transformação química e sua representação (equação química), pois de acordo suas manifestações, as espécies no meio reacional existem em quantidades equivalentes ao coeficiente estequiométrico, de maneira que não “sobrariam” moléculas para sofrerem interações com o “excesso” de B adicionado.

Essa mesma dificuldade em distinguir o fenômeno de sua representação foi observada em licenciandos de uma IES do estado de Minas Gerais por JÚNIOR e SILVA (2009) e TODELO e FERREIRA (2016) em formandos de um IF do estado de São Paulo.

O discente A5, pertencente a categoria “próximo ao conceitual”, foi o único, dentre os 14 licenciandos, a propor argumentações coerentes para o fenômeno:

“ (...) a partir do momento o que **adicionou uma maior quantidade de B [...]** **aumenta a concentração de B, a probabilidade de ocorrer choque entre A e B é maior**, como é maior, o que que vai ocorrer... **a gente vai favorecer**, né? O **processo direto**, então o que que vai acontecer, a nossa reação **por um determinado momento, ela sai do estado de equilíbrio [...]** de tal forma que eu consiga novamente alcançar o equilíbrio, então **A e B, interage um pouco mais, forma um pouco mais de C e D, e esse C e D ai um pouco dele também vai reagir um pouco mais, um pouco mais do A ai vai ser consumido, até que o sistema conseguisse alcançar o equilíbrio.**” (E7cA5, grifo nosso).

Conforme evidenciado em sua resposta, o licenciando A5 foi o único a atribuir explicações cinéticas ao fenômeno, revelando mais uma vez aquela relação de causa/efeito entre as concentrações, interações e choques efetivos. Isto permitiu ao discente conseguir corretamente prever e explicar o favorecimento reacional como uma consequência do aumento da probabilidade de choques efetivos entre as moléculas de reagentes em comparação às dos produtos, mas não sendo esse o sinônimo de que os choques entre produtos cessem, apenas que a probabilidade de ocorrerem nesse momento é menor.

A sequência da explicação de A5 a esse questionamento sobre adição de reagente revelou que o discente também considerou espontaneamente outro

aspecto importante dos sistemas em equilíbrio químico: a manutenção do valor da constante de equilíbrio químico:

“(...) muito **provavelmente as concentrações finais desse terceiro estágio aí** (equilíbrio químico após a adição de B), **vão ser diferentes do que era no 2**, porém, em **questão de estequiometria, ela ainda tem que ser mantida** [...] e no final das contas, se a gente fizer é... se calculasse a **constante de equilíbrio pra esse processo aí, a gente percebe que o valor dessa constante tem que se manter no 2** [EQ antes da adição de B] e **no 3** [EQ após a adição de B], o que ocorre é que, a **concentração seria um pouco diferente (...)** (E7cA5, grifo nosso).

Além da constante de equilíbrio, o discente ressalta a importância do respeito à estequiometria reacional. Com base nessas discussões, sugerimos a hipótese de que o discente não conseguiu interpretar as semi-reações e nem as relacionar quando exposto naquela situação diferenciada, representada pelo efeito do aumento das concentrações antropogênicas de gás carbônico na formação da estrutura esquelética dos corais.

Conforme já discutido, o modelo mental de equilíbrio químico construído por A5 revelou-se um modelo significativo, apresentando características cinéticas no nível atômico-molecular, assim como sua concepção prévia do conceito de reação. Essa incorporação significativa dos fatores cinéticos em seus modelos mentais possibilitou ao discente explicar a resposta do sistema frente a variação das concentrações.

Entretanto, devido seu modelo mental não envolver muitas considerações termodinâmicas, a explicação da variação da temperatura se mostrou mais limitada a aplicação mecânica do princípio de Le Chatelier.

5.3 - Considerações e relações sobre as argumentações dos discentes

Os dados relacionados ao favorecimento reacional apresentados e discutidos nessa seção reforçaram o apego macroscópico e simbólico dos discentes pertencentes a categoria “modelo mecânico” sobre o conceito de equilíbrio químico.

Isso porque tais discentes só conseguiram associar a variação da temperatura como um fator influenciador deste estado a partir da observação sensorial das imagens durante a entrevista, e ainda assim com a aplicação mecânica do princípio de Le Chatelier.

A concepção externalizada pela maioria dos licenciandos investigados revela a prática comum, já relatada na literatura através dos trabalhos realizados por autores como RAVIOLO e AZNAR (2003), CAROBIN e SERRANO (2007), JÚNIOR e SILVA (2008) e BROIETTI et al. (2013), da utilização desse princípio como uma espécie de procedimento essencial, infalível, sem limitações e que apresenta por si só “justificativas” para o fenômeno, fazendo com que este seja compreendido e encarado como um obstáculo metodológico no processo de aprendizagem do conceito de equilíbrio químico (QUÍLEZ-PARDO, 1997).

Além disso, nossos dados também evidenciam e reforçaram algumas concepções alternativas já apresentadas nas discussões anteriores, como a consideração de que reagentes e produtos apresentam a mesma concentração no estado de equilíbrio, o número de moléculas presentes no meio reacional corresponde ao coeficiente estequiométrico da reação, e a compreensão compartimentalizada do sistema.

A análise das falas da maioria dos discentes, em comparação com seus desenhos também permitiu observar que a compreensão dos termos “favorecimento” ou “deslocamento” na verdade está relacionada à formação total da espécie favorecida. Assim, nossos dados evidenciam que o significado adotado também a essas terminologias pelos licenciandos diverge, assim como a expressão “velocidades iguais”, do significado científico atribuídos a elas. Também foram observadas dificuldades em transitar e relacionar os níveis representacionais.

Somado a isso, as argumentações fornecidas tanto pelos discentes pertencentes a categoria “obstáculo animista”, quanto “reagente limitante”, reforçam a hipótese de que os licenciandos estão incorporando de maneira mecânica o que diz o enunciado do princípio de Le Chatelier.

Pelo menos inicialmente todos alunos corretamente previram o favorecimento reacional, sendo que a investigação mais aprofundada, solicitando que explicitassem a compreensão do fenômeno, conforme sugerida por MACHADO e ARAGÃO (1996) revelou confusões e contradições, além da não visualização/compreensão do sistema e do fenômeno em si.

Isso é explicado de acordo com a Teoria de JOHNSON-LAIRD (1983) e de AUSUBEL et al. (1980) devido à construção de modelos inconsistentes no qual as informações e conceitos foram incorporados de maneira isolada, ou com pouca

relação com ideias prévias devidamente inclusivas, compreendidas, desenvolvidas e adequadas.

Segundo AUSUBEL et al. (1980) a exposição longa à realização de exames, tarefas e atividades semelhantes, faz com que os alunos não apenas se acostumem a memorizar fórmulas ou proposições, mas também às causas, explicações e modos de resolver “típicos” problemas.

Sendo assim, o que nossos dados evidenciam é essa “acomodação” com relação a utilização do princípio de Le Chatelier, pois quando expostos a situações diferenciadas, tiveram dificuldades em aplica-lo e em propor explicações e argumentações sobre o sistema como um todo, reforçando a aprendizagem predominante mecânica.

Nossos dados condizem com o observado por JÚNIOR e SILVA (2009), ao relatarem que 94% dos licenciandos investigados por eles também conseguem prever corretamente o “deslocamento” do equilíbrio químico frente a adição de reagentes, mas apresentaram dificuldades em argumentar adequadamente o processo.

Os resultados de BROIETTI et al. (2013), mostram que todos os formandos do curso de licenciatura de uma IES do norte do Paraná que fizeram parte de sua pesquisa, corretamente conseguiram prever o deslocamento do equilíbrio em situações parecidas, mas não explicaram a questão utilizando respostas mais completas.

Conclusões semelhantes foram obtidas por QUÍLEZ (2006) e também evidenciadas através do trabalho de revisão realizado por RAVIOLO e AZNAR (2003), que analisaram 11 trabalhos voltados para o Ensino Superior (além de outros para o nível Médio).

Os resultados destas importantes pesquisas realizadas por tais autores citados anteriormente, quando comparados aos obtidos por nós no presente trabalho, nos faz concordar quando eles propõem que o entendimento que os alunos possuem sobre o que diz o princípio de Le Chatelier não parece ser suficientemente consistente.

Portanto, reforçamos a necessidade de explicações mais elaboradas, envolvendo discussões cinéticas e termodinâmicas, bem como reflexões sobre o processo no nível submicroscópico, para construção de modelos mentais cada vez mais próximos ao modelo conceitual, visando a aprendizagem significativa.

A essas conclusões, já relatadas na literatura, contribuimos sugerindo que a presença do modelo subsunçor de reação química adequadamente desenvolvido nos três níveis representacionais da Química com a assimilação dos elementos de baixa complexidade, que inclui noções cinéticas e termodinâmicas (e de suas relações), parece ser fundamental para atribuição de significado para o conceito de equilíbrio químico e também de interpretações referentes ao favorecimento reacional por parte do aprendiz.

De acordo com os dados aqui discutidos, comparados com a literatura, também nos mostramos concordantes com o fato de que as justificativas evasivas e ingênuas (BROIETTI et al. 2013), do tipo “deslocou para a direita (ou esquerda)”, devem ser interpretadas como incompletas, caso o professor formador esteja de fato buscando e avaliando a aprendizagem significativa de seus alunos.

Esses tipos de respostas evidenciam a memorização do princípio de Le Chatelier (BROIETTI et al. 2013) e, provavelmente estão “escondendo” os modelos confusos, incompletos e predominantemente mecânicos construídos pelos alunos, sem a compreensão do comportamento submicroscópico do sistema químico.

Sendo assim, essas discussões reforçam a necessidade de insistir em um tratamento qualitativo do conceito durante o ensino desse conteúdo, relacionando-o com aquilo que o aluno já sabe, ou seja, é necessário que haja interpretação e atribuição de significados ao fenômeno. Desta forma evidenciamos a importância de trazer para sala de aula discussões e interpretações sobre o fenômeno nos diferentes níveis representacionais.

Na seção a seguir, será apresentada uma síntese na forma de quadros referente à análise de cada elemento de alta e baixa complexidade analisado para cada discente nos diferentes instrumentos de coleta de dados, com a finalidade de resumir e reforçar a categorização proposta nesse trabalho.

5.4 - Síntese da análise dos elementos de baixa e alta complexidade para cada discente observada em cada instrumento

Conforme discutido em diferentes momentos no presente texto, a teoria da aprendizagem significativa enfatiza a importância do conhecimento prévio do aluno no processo de aprendizagem, assim como a formação dos modelos mentais envolve a interação das novas informações com os modelos mentais prévios, de maneira que

ambas teorias em muito se relacionam e contribuem para o entendimento do processo de ensino e de aprendizagem.

Nossos dados condizem com tais pressupostos uma vez que têm relevado a dependência da aprendizagem com maior caráter significativo do conceito de equilíbrio químico com a presença e relação à modelos subsunçores consideravelmente desenvolvidos (modelo cinético atômico-molecular) sobre o conceito de reação química.

Nesse momento, novamente esclarecemos como modelo subsunçor consideravelmente desenvolvido aquele capaz de permitir ao indivíduo compreender e visualizar o fenômeno (transformação) nos três níveis representacionais da química, bem como transitar entre eles, que segundo JOHNSTONE (1993, 2000) se refere a uma condição necessária para a compreensão dessa Ciência.

Para isso, esse modelo subsunçor deve ser constituído da incorporação significativa dos elementos de baixa complexidade (movimentação, interação, choques efetivos e não efetivos, transformações e rearranjo das espécies) bem como da relação entre tais elementos (como a influência das concentrações nas interações, probabilidade de choques e velocidade reacional).

Nossos dados têm relevado que os diferentes níveis de complexidade do conceito/modelo subsunçor de reação química (que envolve a presença de elementos de baixa complexidade) apresentado pelos discentes em muito influenciou na construção dos modelos mentais sobre o conceito de equilíbrio químico (que envolve os elementos de baixa complexidade e alta complexidade).

No Quadro 5.4, são apresentadas as análises dos elementos de baixa e alta complexidade para todos os discentes nos diferentes instrumentos de coleta de dados com a finalidade de evidenciar essa dependência observada neste trabalho, e reforçar as categorias, análises e discussões aqui propostas.

O quadro foi organizado da seguinte maneira: na primeira coluna estão apresentados cada um dos discentes, na segunda os instrumentos utilizados para coleta de dados (questionário – Q, animação – A e entrevista – E), e nas próximas os elementos de baixa complexidade (choques efetivos e não efetivos, as atividades cinéticas das espécies, a compreensão do conceito de reação química de acordo com o nível representacional observado), e os de alta complexidade (velocidades iguais, coexistência, concentração constante e favorecimento reacional), seguida de uma

conclusão referente a presença de qual grupo de elementos foi/foram observado/os e cada instrumento de coleta (baixa complexidade – BC ou alta complexidade – AC).

Com relação ao preenchimento do quadro, os alunos que apenas receberam uma marcação com “X”, corresponde que tal item foi mencionado, considerado e/ou representado pelo discente de maneira espontânea e, as vezes explicado.

A letra “P” indica que para tal elemento, foi observada uma visão parcialmente desenvolvida no nível atômico-molecular, a abreviação “NE”, indica uma manifestação não espontânea de determinado elemento, a letra “M”, que foram observadas manifestações possivelmente memorizadas e, por fim o; “-”, indica que tal elemento não foi avaliado por meio de determinado instrumento.

Modelo	LIC	Instrumento	Choque		Cinética Molecular	Reação Química			v1=v2	Coexistência	[] Constante	Favorecimento		Elemento	
			EF	NEF		S	MA	SB				MC	SG	BC	AC
Mecânico	A1	Q				X					X/NE	X		X	
		A	X			-	-	-						X	
		E				X			NE/M		NE	X		X	M
	A3	Q	X			X					X			X	
		A	X		X	-	-	-						X	
		E	X			X			M	M	NE/M	X		X	M
	A6	Q	X			X					NE			X	
		A	X		X	-	-	-						X	
		E				X	X		NE/M	M		X		X	
	A7	Q	X			X								X	
		A	X		X	-	-	-						X	
		E				X	X		NE/M					X	
	A8	Q	X			X								X	
		A	X		X	-	-	-						X	
		E				X						X		X	
	A9	Q	X			X					M			X	

	A10	A	X		X	-	-	-							
		E				X	X		NE/M			X		X	
		Q				X								X	
	A11	A	X		X	-	-	-						X	
		E				X	X					X		X	
		Q				X								X	
	A13	A	X	X		-	-	-						X	
		E	X			X	X					X		X	
		Q													
	A14	A	X		X	-	-	-						X	
		E				X	X		M					X	
		Q				X								X	
Parcialmente significativo	A2	Q	X								M			X	
		A	X		X	-	-	-		P				X	X
		E	X		P	X	X	P		M	M			X	X
	A4	Q	X	X								X			
		A				-	-	-		P				X	X
		E	X		P	X	X	P	X	M	X	X		X	X
Significativo próximo ao conceitual	A5	Q	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
		A	X		X	-	-	-	X	X	X			X	X
		E	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	A12	Q	X	X	X	X	X	X						X	X
		A				-	-	-					X	X	X
		E	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X

QUADRO 5. 4 - Síntese da análise dos elementos de alta e baixa complexidade para cada discente e em cada instrumento. Fonte: AUTORA.

De acordo com as análises sintetizadas no Quadro 5.4, os discentes pertencentes a categoria “modelo mecânico”, sendo eles A1, A3, A6, A7, A8, A9, A10,

A11, A13 e A14 apenas fizeram menção aos elementos de baixa complexidade em alguns instrumentos de coleta de dados.

Com relação a ocorrência de choques entre as espécies, estes discentes apenas fizeram referência aos choques do tipo efetivo e a maioria em situações não espontâneas (questionário e/ou animação), enquanto que a representação das atividades cinéticas de reagentes e produtos só foram observadas na animação, no entanto, para representar as interações entre eles, se fazia necessário a movimentação dessas espécies.

Alguns licenciandos (A1, A3, A7, A9) chegaram a considerar em um ou outro instrumento alguns elementos de alta complexidade (entrevista e/ou questionário), porém de maneira não espontânea e/ou memorizada. Nas animações não foram encontrados nenhum desses elementos.

Uma leitura semelhante realizada para as discentes pertencentes a categoria “modelo parcialmente significativo” já revela uma maior consideração dos elementos de alta complexidade (além dos de baixa complexidade) nos diferentes instrumentos de coleta de dados, mesmo com maior predominância mecânica e/ou equivocada (processo não simultâneo). Além disso, também se observa a consideração de certa visão cinética do conceito de reação química, inclusive no nível atômico-molecular, conforme já discutido.

Por fim, na leitura da síntese de análise de A5 e A12 (modelo significativo próximo ao conceitual), já é possível observar um cenário oposto aquele dos discentes pertencentes a primeira categoria discutida. Nos diferentes instrumentos de coleta de dados (incluindo a animação) são observados ambos os elementos de baixa e alta complexidade, além de considerações da atividade cinética das espécies e de uma visão no nível atômico-molecular do conceito subsunçor de reação química.

Assim, podemos dizer que os discentes da categoria “modelo mecânico” construíram modelos proposicionais para o conceito de equilíbrio químico, o que os limitou apenas a reproduzirem definições memorizadas, não construindo uma visão analógica para o sistema. Isso ocorreu devido a simples incorporação de conceitos, frases e termos desprovidos de grandes significados relacionadas a temática de equilíbrio a um conhecimento prévio de reação química puramente simbólico e macroscópico.

Já as discentes da categoria “modelo parcialmente significativo” parecem ter construído um modelo parcialmente analógico para o conceito de

equilíbrio químico, permitindo a compreensão de um sistema que apresenta certa movimentação e interação entre as espécies, com visualizações do fenômeno reversível, mas não simultâneo. Isso ocorreu devido aquela concepção prévia de processo de transformação química em etapas, o que acabou interferindo na visualização e, portanto, atribuição de significado à dinamicidade deste estado reacional reversível e simultâneo.

Por fim, com relação a categoria “modelo significativo próximo ao conceitual” se mostrou um modelo predominantemente analógico, no qual os discentes visualizam e relacionam os elementos de alta e baixa complexidade como consequência da existência do modelo subsunçor de reação química também predominantemente analógico e, portanto, significativo.

Assim, através da análise e comparação da síntese das análises apresentadas no Quadro 5.4, acompanhadas das discussões detalhadas realizadas durante todo esse capítulo, fica evidenciada aquela dependência envolvendo o modelo prévio de reação química e dos elementos de baixa complexidade com a aprendizagem do conceito de equilíbrio químico.

5.5 - Algumas considerações sobre a abordagem do conceito na visão dos licenciandos

Na entrevista foi questionado aos alunos se eles lembravam em qual (is) do(s) nível(eis) representacional(is) da Química (simbólico, macroscópico ou submicroscópico) os professores costumam ministrar o conceito de equilíbrio químico nas disciplinas já cursadas em que o tema foi propriamente trabalhado. Também foi feito o questionamento referente a consideração, por parte dos professores formadores sobre os conhecimentos prévios dos alunos antes de iniciarem as discussões sobre a temática.

Um total de 10 discentes investigados responderam que as aulas de equilíbrio químico eram focadas principalmente nos aspectos simbólicos, envolvendo “*basicamente os cálculos, tentar compreender como que é o cálculo*”, tendo “*uma pequena porcentagem, uma pequena parte, eu diria, submicroscópico*” e “*alguma coisa em questão de algum efeito macroscópico, alguma curiosidade relacionada*”, conforme argumenta A5.

Os discentes A2, A3, A9 e A14 disseram que os professores tentavam trabalhar a temática nos três níveis e, em concordância com os demais alunos

investigados, disseram que a abordagem dos conceitos químicos em geral relacionada aos níveis representacionais variava muito de professor para professor, e também da disciplina, havendo aquele professor que tentava trabalhar os três níveis em conjunto, aquele mais focado no simbólico e também o mais focado no submicroscópico. Mas que em geral, o conteúdo de equilíbrio químico não fugia muito do simbólico.

As manifestações dos discentes A5 e A12 chamaram atenção, pois eles externalizaram, assim como A1, seus descontentamentos relacionados ao processo de formação inicial no que diz respeito à compreensão e discussão dos conceitos químicos no nível submicroscópico.

O licenciando A12, de maneira resumida afirmou que “*na graduação é tudo simbólico*”, dizendo acreditar ser mais fácil e comum pensar no conceito de equilíbrio químico e demais fenômenos químicos nesse nível devido à maneira simbólica que os conceitos são trabalhados no decorrer do curso, dizendo que normalmente os alunos não são “treinados” durante a sua formação a raciocinar e refletir no nível atômico-molecular:

“Eu acho que é **mais no discurso mesmo**, eu acho que é **muito complicado a gente pensar nisso** [submicroscópico] **porque a gente nunca foi treinado** a pensar assim, acho que **nenhum professor meu aqui** [graduação] **ensinou a gente a pensar** assim, a maioria fala: olha você tem esses caras, eles vão se transformar, para que eles se transformem eles precisam disso, disso e disso.” (E4aA12, grifo nosso).

Semelhantemente, o discente A5 também se referiu a esse apego ao nível simbólico observado nas aulas e que o nível submicroscópico as vezes é trabalhado, mas “*não de uma forma tão abrangente que levasse a gente a refletir tanto a cerca disso*”.

A discente A4, que no momento da coleta de dados estava no último ano do curso, ao refletir sobre a questão mencionou que sentiu falta da transição entre os diferentes níveis representacionais nas discussões sobre os fenômenos dizendo:

“(…) o **triângulo** (três níveis e relação destes) **não tinha**, tipo... **era só focado em 1**, ou era só simbólico, ou só submicroscópico e quando tinha laboratório era simbólico e macroscópico... **no geral foi mais simbólico, incluí as aulas de equilíbrio químico.**” (E4aA4, grifo nosso).

Essas argumentações dos discentes são condizentes com o que a literatura revela sobre o processo de ensino de conceitos químicos, e em específico

do equilíbrio químico, visto que as abordagens relacionadas ao conceito em materiais didáticos e em sala de aula, tanto no Ensino Médio (MACHADO e ARAGÃO, 1996; MILAGRES e JUSTI, 2001; KIILL, 2009) quanto no Ensino Superior (SANTOS e MELO, 2013) geralmente tendem a enfatizar aspectos quantitativos em detrimento de uma abordagem qualitativa e costuma ser focado nos níveis simbólico e sensorial.

Como consequência desse enfoque dado ao conceito, MACHADO e ARAGÃO (1996) argumentam que no final do estudo da temática muitos alunos conseguem realizar cálculos de constante de equilíbrio a partir das concentrações de reagentes e produtos, e também o processo inverso, além disso, também são capazes de prever a resposta do sistema a uma dada perturbação, dizendo se o equilíbrio se desloca para direita ou para a esquerda.

No entanto, ao investigar a compreensão por parte desses alunos sobre o que de fato ocorre no sistema no nível atômico-molecular, provavelmente tal compreensão seria limitada, o que de fato foi observado no presente trabalho, pois conforme explicam MILAGRES e JUSTI (2001, p.42) “as explicações relativas à existência do estado de equilíbrio e aos processos de tal estado ser atingido e deslocado situam-se no nível microscópico”.

SANTOS et al. (2016) complementam tal colocação realizada por MILAGRES e JUSTI ao argumentarem que o foco em cálculo e no nível simbólico propicia aos alunos o “desenvolvimento cognitivo referente a cálculos e fórmulas, porém não ocorre o mesmo quando se trata dos aspectos microscópicos e de compreensão do sistema”.

Em concordância com as manifestações dos discentes investigados nesse trabalho e dos autores já mencionados, o trabalho de revisão bibliográfica sobre as concepções alternativas atreladas ao conceito de equilíbrio químico nos diferentes níveis representacionais realizado por CAROBIN e SERRANO (2007) revelou que o nível mais utilizado durante uma exposição teórica em sala de aula consiste no simbólico, por meio da resolução de problemas quantitativos. No que se refere a experimentação envolvendo reações químicas o foco é o aspecto macroscópico, sendo o submicroscópico pouco enfatizado.

Com relação a importante consideração sobre conhecimentos prévios dos licenciandos por parte dos professores formadores, nossos dados revelaram que o processo de ensino do conceito de equilíbrio químico na graduação ainda parece ocorrer sem essa preocupação.

Isso porque todos os 14 discentes investigados revelaram que as discussões sobre a temática já eram iniciadas sem a realização de conversas iniciais que tinham como finalidade levantar suas concepções, e que quando haviam questionamentos *“eles faziam pergunta assim, era uma pergunta bem rápida, do tipo, vocês já tiveram contato com o equilíbrio químico? Ai a gente respondia sim ou não e já começava a passar mesmo a parte química”*, conforme explica A10.

O discente A5, durante a sua manifestação sobre essa questão, chamou a atenção sobre o fato de muitos professores já considerarem que eles chegavam para a sala de aula com o conhecimento consolidado sobre determinados conceitos que foram aprendidos em momentos educacionais anteriores, dizendo *“vocês já viram isso aqui no Ensino Médio, então eles supunham que a gente já tinha algum conhecimento e partiam para o conteúdo, na grande maioria das vezes”*.

Essa postura acaba desconsiderando totalmente a possibilidade da construção de modelos mentais resultantes na aprendizagem predominantemente mecânica, comum na sala de aula em qualquer nível educacional, e até mesmo a construção de concepções alternativas sobre determinado conceito/conteúdo, que nunca foram confrontadas e superadas, conforme observado nesse trabalho.

Essa despreocupação com o conhecimento prévio do discente ocorre muitas vezes pelo fato do professor em exercício não conhecer e/ou reconhecer a importância desse fator para o processo idiossincrático de construção do conhecimento, ou talvez por apresentar aquela concepção tradicional de que aquilo que é “ensinado” por ele corresponde exatamente aquilo que é “aprendido” pelo discente, e quando isso não ocorre é por culpa exclusiva do aprendiz que não se esforçou ou não teve interesse sobre o conteúdo.

Os discentes A4, A12 e A13 mencionaram sobre como o conceito de equilíbrio químico era abordado em listas de exercícios, revelando a predominância dos aspectos quantitativos sob os qualitativos, A4, por exemplo disse se lembrar que *“as listas eram só cálculos, você precisava de discussão teórica para coisinhas mínimas assim, correlacionada a que lado que ia deslocar se a reação era endotérmica ou exotérmica, coisas assim, a maior parte era cálculo mesmo”*. Algo importante a ser ressaltado é que esses discentes estavam em diferentes turmas e ainda assim compartilharam dessa mesma concepção.

Logo, o que nossos dados indicam é que mesmo com os importantes trabalhos já publicados na literatura em que foram discutidas as consequências e

implicações do ensino dessa temática limitada e/ou predominantemente envolvendo os cálculos, sem considerar a importância de discussões qualitativas (MACHADO e ARAGÃO, 1996; SANTOS et al., 2016), e as dificuldades de compreensão da temática no nível submicroscópico, ainda hoje o ensino desse conteúdo continua ocorrendo sem considerar as concepções iniciais dos alunos.

Além disso, o ensino do conceito de equilíbrio químico também parece continuar ocorrendo sem discussões aprofundadas e reflexivas no nível submicroscópico e focado nos seus aspectos quantitativos que, apesar de serem importantes e necessários não são suficientes, quando trabalhados sozinhos, para permitir a construção de um modelo mental que permita a compreensão significativa próxima ao modelo conceitual do estado de equilíbrio químico.

A partir dessas discussões, essa pesquisa revela, e também reforça, a consideração feita por MACHADO e ARAGÃO (1996) da necessidade de mudar na sala de aula o foco total do professor, da lousa, das apresentações em Power Point, dos cálculos excessivos realizados de maneira mecânica, e centrar a atenção no fenômeno em si, trazendo-o para sala de aula, criando momentos de reflexão, incluindo situações e explicações envolvendo os três níveis representacionais da química.

Além disso, há necessidade de permitir aos discentes que externalizem os modelos mentais que estão construindo, para que estes sejam guias das estratégias a serem adotadas para dar continuidade ao processo de ensino e aprendizagem pelo professor.

Essa tarefa não é trivial, ela exige do professor o conhecimento de seu próprio modelo mental sobre o conceito de equilíbrio químico, reconhecendo suas potencialidades e possíveis falhas e como corrigi-las. Exige também o conhecimento do que a literatura diz sobre os problemas, as concepções alternativas dos alunos e as possíveis causas destas sobre a temática, isto é, exige que seja considerado aquilo que seus alunos já sabem.

Assim, finalizamos essas discussões concordando com HACKLING e GARNETT (1985) ao argumentarem que o Ensino de Ciências, no caso desta pesquisa o de equilíbrio químico, precisa ser encarado como uma reestruturação das ideias pré-existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, e não simplesmente como meras adições de informações a esse conhecimento prévio.

Capítulo 6 - Considerações finais

Neste trabalho assume-se que o processo de formação de modelos mentais envolve a relação, equilibração e acomodação de sucessivas imagens mentais em um processo dinâmico de interação. Logo, à medida que essas imagens vão sendo formadas e acomodadas, têm-se a construção do modelo mental para aquele conceito ou fenômeno e, dependendo da maneira como essas informações são incorporadas a esses modelos, que chamamos de subsunçores, o resultado será aprendizagem com maior caráter mecânico ou significativo.

O equilíbrio químico, caracteriza-se por um conjunto de conceitos de natureza abstrata que exige manipulações mentais de suas características (elementos de alta complexidade), de modo que a construção de um modelo mental para o conceito resultante na aprendizagem com maior caráter significativo próximo ao conceitual possa ser construído.

Esta forma de aprendizagem parece envolver a necessidade da superação de visões simplistas derivadas de experiências sensoriais cotidianas, puramente relacionadas ao nível concreto. Somado a isso, também parece depender da presença de modelos prévios consideravelmente desenvolvidos e adequados, inclusive no nível submicroscópico para o conceito de reação química.

Um modelo subsunçor para o conceito de reação química adequadamente desenvolvido também no nível submicroscópico corresponde àquele capaz de permitir o entendimento e a visualização mental de que as espécies possuem atividades cinéticas, das transformações das espécies, além do reconhecimento da ocorrência, importância e relação existente entre as interações, os choques (efetivos e não efetivos) e as concentração de reagentes e produtos. Parecendo ser esses os fatores limitantes para construção de um modelo para o conceito de equilíbrio químico capaz de permitir a compreensão deste estado como sendo dinâmico, reversível e simultâneo.

Isto é, de acordo com nossos dados, a compreensão significativa e próxima àquela aceita cientificamente no nível atômico-molecular da reversibilidade e simultaneidade do estado de equilíbrio químico, parece ser dependente da existência e da ancoragem do conceito à um modelo subsunçor de reação química cinético-molecular.

Por sua vez, essa assimilação significativa da dinamicidade, reversibilidade e simultaneidade do estado de equilíbrio em nível submicroscópico

parece ser fundamental para aquisição também significativa da coexistência e da manutenção quantitativa de reagentes e produtos no sistema, pois todos os discentes apresentaram a concepção de que a reação de equilíbrio é um fenômeno reversível.

Entretanto, a maioria pareceu não compreender que esse processo é simultâneo, associando a um estado “vai e volta”, apresentando problemas relacionados à coexistência, às concentrações constantes e dificuldades em raciocinar no nível atômico-molecular, apresentando modelos predominantemente mecânicos e desenvolvidos nos níveis macroscópico e simbólico, justificando nossa hipótese.

Consequentemente, a maioria dos discentes investigados tem memorizado os conceitos de alta complexidade, não conseguindo transpor os conceitos de baixa complexidade por não possuírem subsunçores bem desenvolvidos, não ultrapassando assim a barreira dos conhecimentos prévios.

Com relação a essa questão, os dados obtidos e discutidos nesse trabalho reforçam a necessidade dos professores em compreenderem e valorizarem aquilo que seus alunos já trazem consigo para sala de aula. Isso porque apesar do conceito de equilíbrio químico estar restrito à disciplina Química, os alunos já apresentam concepções de equilíbrio (concepções alternativas) derivadas de suas experiências sensoriais e macroscópicas atreladas ao cotidiano (balança, andar de bicicleta, etc.), que acabam atuando como barreiras para a atribuição do significado científico a esse estado reacional.

Essas concepções alternativas, se referem “aquilo que o aluno já sabe”, segundo a perspectiva de AUSUBEL et al. (1980) e, portanto, as imagens prévias dos alunos, na perspectiva dos modelos mentais, de acordo com SOUZA (2013).

Portanto, em concordância com a literatura, nossos dados revelaram, que tais concepções ainda estão fortemente presentes na estrutura cognitiva da maioria dos licenciandos investigados, que inclui alunos do 4º semestre, mas também do 6º e 10º semestres, mesmo após já terem tido contato com a temática nas aulas da graduação, revelando que o objetivo da construção do conhecimento científico não foi atingido.

Sendo assim, a presença dessas ideias iniciais, juntamente com as manifestações dos alunos referentes ao processo de formação, evidencia que os professores formadores não estão considerando os conhecimentos prévios dos alunos, evidenciado pela dificuldade dos alunos em ultrapassar a barreira do nível

concreto e dos conhecimentos prévios (concepções alternativas) para um maior nível de abstração, de maneira a permitir a compreensão dos aspectos importantes do conceito. Dessa forma, observamos que dois fatores importantes parecem estar influenciando nessas dificuldades.

O primeiro motivo relacionado ao fato de os alunos não estarem conseguindo construir modelos significativos próximos ao conceitual para o conceito de equilíbrio químico está atrelado a não existência de modelos prévios de reações químicas desenvolvidos conceitualmente.

Como consequência, ao se depararem com as definições comumente encontradas em livros didáticos e nas falas de professores, como “as velocidades das reações direta e inversa são iguais”, “no equilíbrio químico as espécies coexistem e em concentrações constantes”, e “o equilíbrio químico é dinâmico”, tais frases acabam sendo memorizadas pelos discentes por não encontrarem em suas estruturas cognitivas ideias e visões prévias suficientemente desenvolvidas para interagirem e se assimilarem.

O outro motivo apresenta fortes relações com esse primeiro e, também evidencia o importante papel do professor no processo de ensino e aprendizagem, pois o que se tem observado é a não consideração desses modelos prévios dos estudantes nas práticas pedagógicas, que acabam atuando como obstáculos para a aprendizagem desse processo reversível, simultâneo e dinâmico.

Uma vez evidenciados e conhecidos tais modelos inconsistentes, simplistas e puramente macroscópicos e/ou simbólicos, os professores poderiam, a partir de estratégias orientadas, colaborar para reconstrução e reformulação desses conceitos subsunçores, de maneira a promover a reconciliação integradora e/ou a diferenciação progressiva de conceitos de baixa complexidade já incorporados, ou de novos que ainda precisam ser assimilados e compreendidos.

Como consequência de tais fatores, essas concepções alternativas acabam não passando por um processo de transformação e superação, pois continuam parecendo consistentes e verdadeiras para os alunos de acordo com seus conhecimentos e entendimentos, mesmo que sejam divergentes do modelo científico, fazendo com que os alunos memorizem as características dinâmicas do equilíbrio químico.

Assim, baseado nos dados apresentados e discutidos no presente trabalho, propomos que para o discente construir um modelo mental

predominantemente significativo e próximo ao conceitual para o conceito de equilíbrio químico, ele precisa compreender e visualizar o processo de transformação química no nível submicroscópico.

Isto é, precisa haver uma aprendizagem significativa do conceito de transformação química, permitindo ao aprendiz compreender que as espécies apresentam atividade cinética, imaginando-as. Então, a partir dessa visão subsunçora desenvolvida a nível atômico-molecular, o estudante conseguirá incorporar de maneira predominantemente significativa, a reversibilidade, a dinamicidade e simultaneidade do estado de equilíbrio químico, também neste nível representacional.

Como resultado, esta aprendizagem predominantemente significativa da reversibilidade, dinamicidade e principalmente a simultaneidade do estado de equilíbrio químico permitirá ao discente atribuir significado (com compreensão) aos demais elementos de alta complexidade, isto é, coexistência e manutenção quantitativa de reagentes e produtos no sistema. O resultado deste processo envolve a construção de um modelo mental predominantemente analógico e significativo próximo ao conceitual para o conceito de equilíbrio químico.

Diante dessas discussões e conclusões apresentadas nessa pesquisa, assim como aquelas já apresentados na literatura e discutidas no decorrer desse texto, uma questão fica a ser respondida: Como ensinar equilíbrio químico?

Como sugestão de resposta a tal questionamento retomamos uma citação já utilizada nesse trabalho para afirmar que a resposta está nas próprias palavras de AUSUBEL et al. (1980, p.137) “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra isso e ensine-o de acordo”.

Ou seja, sugerimos que a superação desses problemas relacionados ao processo de ensino e aprendizagem do conceito de equilíbrio químico só será possível se os professores em formação conhecerem as concepções prévias que seus alunos apresentam sobre o conceito fundamental de reação química e da ideia de equilíbrio, e não apenas isso, que deem a devida atenção e importância, considerando e relacionando tais informações importantes no processo de ensino e aprendizagem.

Sendo assim, acreditamos ter conseguido atingir o objetivo proposto para realização dessa pesquisa de maneira que as discussões construídas com base nos pressupostos da teoria da aprendizagem significativa (AUSUBEL et al., 1980), e dos modelos mentais (JOHNSON-LAIRD, 1983) e da literatura específica,

apresentamos e justificamos os motivos das problemáticas relacionadas à aprendizagem do conceito de equilíbrio, que, conforme discutido, estão associados a construção de modelos mecânicos, caracterizados pela aprendizagem predominantemente mecânica do conceito por razões já devidamente detalhadas e defendidas.

Capítulo 7 - Referências

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D. & HANESIAN, H. Psicologia educacional. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro, Interamericana, 1980. p. 625

BACHELARD, G. A Formação do Espírito Científico: contribuição para a psicanálise do conhecimento. Tradução Esteia dos Santos Abreu. São Paulo, Contraponto, 1996, cap. 1. p. 17-28.

BORGES, A. T. “Como evoluem os modelos mentais”. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciência (Belo Horizonte), 1 (1): 66, 1999.

BROETTI, F. C.; PASSO, M. M.; FILHO, O. S. & SOUZA, J. N. “Alguns significados da expressão “deslocar o equilíbrio” em formandos do curso de licenciatura em Química”. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), 15 (3): 217, 2013.

BROWN, T.; LEMAY, H. E. & BURSTEN, B. E. Química: a ciência central. 9a ed. São Paulo, Prentice-Hall, 2005, p. 972

CAROBIN, C. & SERRANO, A. “Uma revisão das concepções alternativas em Equilíbrio Químico dentro do enfoque dos diferentes níveis de representação”. Acta Scientiae, 9 (2): 132, 2007.

CANZIAN, R. & MAXIMIANO, F. A. “Princípio de Le Chatelier, o que tem sido apresentado em livros didáticos?”. Química Nova na Escola, 32 (2): 107, 2010.

FATIMAH, I. “Identifying student’s learning obstacle of shift equilibrium chemistry by using worksheets. International Education and Research Journal, 4 (4): 83, 2018.

FERREIRA, P. F. M. & JUSTI, R. S. “Modelagem e o “fazer ciência””. Química Nova na Escola, (28): 32, 2008.

FREITAS, C. J. A.; KOHORI, R. K. & GIBIN, G. B. “Investigação dos modelos mentais de estudantes de Ensino Médio sobre equilíbrio químico”. Anais do VI Congresso Brasileiro de Educação (VI CBE). Bauru - SP, 2017. vol. 4, p. 2054 – 2060.

GIBIN, G. B. Atividades experimentais investigativas como contribuição ao desenvolvimento de modelos mentais de conceitos químicos. São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Química – UFSCar, 2013. Tese de doutorado, 226 p.

GIBIN, G. B. “As dificuldades de compreensão sobre o conceito de solução representado em nível microscópico por estudantes latino americanos”. Debates em Ensino de Química, 1 (1): 72, 2015.

GIBIN, G. B & FERREIRA, L. H. “Investigação de modelos mentais dinâmicos sobre a dissolução de NaCl por meio da elaboração de animações”. Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência (Enpec). Florianópolis - SC, 2009.

Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/255.pdf>>. Acesso em 22 de março de 2019.

GIBIN, G. B. & FERREIRA, L. H. “A formação inicial em química baseada em conceitos representados por meio de modelos mentais”. *Química Nova*, 33 (8): 1809, 2010.

GIBIN, G.B. & FERREIRA, L. H. “Estudo dos modelos cinemáticos/dinâmicos sobre sistema heterogêneo por meio da produção de animações pelos estudantes”. *Anais do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI)*. Salvador – BA, 2012. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/download/8064/5818>>. Acesso em 25 de mar. 2019.

GOMES, J.N. & RECENA, M. C. P. “Concepções sobre Equilíbrio Químico de alunos ingressantes no curso de Química – Licenciatura da UFMS”. *Anais eletrônicos do XIV Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ)*. Curitiba – PR, 2008. Resumo R0274-1.

GOMES, J.N; AGUIAR, J.G. & MAXIMIANO, F. A. “Concepções alternativas sobre mudanças do estado de equilíbrio químico no ensino superior”. Livro de Resumos do do XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ). Brasília – DF, 2010. Resumo R0802-2.

HACKLING, M. W. & GARNETT, P. J. “Misconceptions of chemical equilibrium”. *International Journal of Science Education*, 7 (2): 206, 1985.

HUDDLE, P. A. & PILLAY, A. E. “An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at a South African University”. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (1): 65, 1996.

JOHNSON-LAIRD, P.N. *Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, Harvard University Press, 1983. p. 513

JOHNSONTONE, A. H. “Chemical education research: where from here?” *University Chemical Education*, 4 (1): 34, 2000.

JOHNSONTONE, A. H. “The development of chemistry teaching”. *The Forum*, 70 (9): 701, 1993.

JOHNSTONE, A. H.; MACDONALD, J. J & WEBB, G. “Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education Chemistry*, 14 (6):169, 1977.

JÚNIOR, J. C. T. & SILVA, R. M. G. “Investigando a temática sobre equilíbrio químico na formação inicial docente”. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2): 571, 2009.

KILL, K. B. *Caracterização de imagens em livros didáticos e suas contribuições para o processo de significação do conceito de equilíbrio químico*. São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Química – UFSCar, 2009. Tese de doutorado, 278 p.

LÜDKE, M. & ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. 2a. ed. Rio de Janeiro, E.P.U, 2018. p. 112

MACHADO, A. H. & ARAGÃO, R. M. R. “Como os estudantes concebem o estado de equilíbrio químico”. Química Nova na Escola, **4** : 18, 1996.

MARQUES, D. A. Estudo do desenvolvimento de modelos mentais sobre o conceito de ligações químicas e sua relação com obstáculos epistemológicos. Manaus, Programa de Pós-Graduação em Química – UFAM, 2015. Dissertação de mestrado, 177 p.

MILAGRES, V. S. O. & JUSTI, R. S. “Modelos de ensino de equilíbrio químico- algumas considerações sobre o que tem sido apresentado em livros didáticos no Ensino Médio”. Química Nova na Escola, **13** : 41, 2001.

MORAES, R. & GALIAZZI, M. C. Análise textual discursiva. Ijuí, Unijuí, 2016. p. 264

MOREIRA, M.A. “Modelos mentais”. Investigação em Ensino de Ciências, 1 (3): 193, 1996.

MOREIRA, M. A. Teorias de aprendizagem. 2a ed. São Paulo, EPU, 2011. p.1996.

MOREIRA, M. A. “Aprendizagem significativa: um conceito subjacente”. Anais do II Encontro Internacional sobre el aprendizaje significativo (II EIAS). Burgos - Universidad de Burgos, 1997, p. 19-44.

MOREIRA, M. A. “¿Al final, qué es aprendizaje significativo?” Currículum, 25 : 29, 2012.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. & PALMERO, M. L. R. “Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias”. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2 (3): 37, 2002.

MOREIRA, M. A. & MASINI, E. F. S. Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo, Moraes, 2001. p.111

MICHAEL, J. A. “Mental models and meaningful learning”. Journal of Veterinary Medical Education, 31 (1): 227, 2004.

NORMAN, D. A. “Some observations on mental models”. In: Mental Models. GENTNER, D. & STEVENS, A. L. (Eds.). Hillsdale, Lawrence Erlbaum Associates. 1983. p. 6- 14.

NOVAK, J.D. Uma teoria de educação. Tradução de MOREIRA, M. A. São Paulo, Pioneira. 1981.

PALMERO, L. R. “La teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird”. In: La teoría del aprendizaje significativa em la perspectiva de la psicología cognitiva. PALMERO, L. R. (ORGs). Barcelona, Octaedro, 2008a. p.46-87.

PALMERO, L. R. “La teoría del aprendizaje significativo”. In: La teoría del aprendizaje significativo em la perspectiva de la psicología cognitiva. PALMERO, L. R. (ORGs). Barcelona, Octaedro, 2008b. p.9 -45.

PAZ, G. L. & PACHECO, H. F. Dificuldades no ensino-aprendizagem de química no ensino médio em algumas escolas públicas da região Sudeste de Teresina. Resumos do X Simpósio de Produção Científica/IX Seminário de Iniciação Científica, 2010. Disponível em: <
<http://www.uespi.br/prop/siteantigo/XSIMPOSIO/TRABALHOS/INICIACAO/Ciencias%20da%20Natureza/DIFICULDADES%20NO%20ENSINO-APRENDIZAGEM%20DE%20QUIMICA%20NO%20ENSINO%20MEDIO%20EM%20ALGUMAS%20ESCOLAS%20PUBLICAS%20DA%20REGIAO%20SUDESTE%20DE%20TERESINA.pdf>> Acesso, 15 de fev. 2019.

PELIZZARI, A.; KRIEGL, M. L.; BRON, M. P.; FINCK, N. T. & DOROCINSKI, S. I. “Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel”. Rev. Pec., 2 (1):37, 2002.

QUÍLEZ-PARDO, J. “El principio de Le Chatelier como regla cualitativa: un obstáculo epistemológico en el aprendizaje del equilibrio químico”. Infancia y Aprendizaje, 78 : 73, 1997.

QUÍLEZ, J. “Análisis de problemas de selectividad de equilibrio químico: errores y dificultades correspondientes a libros de texto, alumnos y profesores”. Enseñanza de las Ciencias., 24 (2):219, 2006.

RAVIOLO, A. & AZNAR, M. M. “Uma revisão sobre las concepciones alternativas de los estudiantes em relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas”. Educación Química, 14 (3): 159, 2003.

SANTOS, A. O. & MELO, M. R. “Dificuldades dos licenciandos em química da UFS em entender e estabelecer modelos científicos para equilíbrio químico”. Livro de Resumos do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ). Salvador – BA, 2012. Resumo R0145-2.

SANTOS, A. C. O. Reflexões sobre as contribuições do estudo dos modelos mentais de equilíbrio químico na formação de professores de Química. São Cristóvão, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática - UFS, 2014. Dissertação de mestrado, 139 p.

SANTOS, A. C. O.; ANDRADE, T. S. & IZAIAS, R. D. “Concepções de equilíbrio e equilíbrio químico: Uma alternativa para a construção do conhecimento científico”. Livro de Resumos do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ). Florianópolis – SC, 2016. Resumo R2076-1.

SANTOS, A. C. O.; MELO, M. R. & ANDRADE, T. S. “Identificando modelos mentais de equilíbrio químico: uma alternativa para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem”. Fórum Identidades, 18 : 35, 2015.

SANTOS, A. C. O.; MELO, M. R.; ANDRADE, T. S. & TEIXEIRA, G. B. “O estudo de modelos mentais sobre equilíbrio químico dos licenciandos da UFS”. Anais

eletrônicos do IX Congresso Nacional de Educação (IX EDUCERE). Curitiba – PR, 2013. Disponível em: < http://educere.bruc.com.br/CD2013/pdf/10030_5904.pdf>. Acesso em 12 abr. 2019.

SANTOS, F. M. T & GRECA, I. M. “Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em Química com uma ferramenta de simulação computacional”. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias., 4 (1): 1, 2005.

SCHNETZLER, R. P. & ARAGÃO, R. M. R. “Importância, sentido e contribuições de pesquisas para o Ensino de Química”. Química Nova na Escola, 1 : 27, 1995

SILVA, D. V. “Reflexões sobre obstáculos epistemológicos e níveis de representação na aprendizagem do conceito de equilíbrio químico”. Ensaio e Pesquisa, 4 : 132, 2016.

SOUZA, E. S. R. “A formação de modelos mentais na sala de aula”. Exitus, 3 (1): 69, 2013.

SOUZA, K. A. F. D. & CARDOSO, A. A. A. “Formação em química discutida com base nos modelos propostos por estudantes de pós-graduação para o fenômeno de dissolução”. Química Nova, 32 (1): 237, 2009.

TAVARES, R. “Aprendizagem significativa e o ensino de ciências”. Ciência e Cognição, 12 (1): 94, 2008.

TOLEDO, E. J. & FERREIRA, L. H. “Stop Motion como recurso didático em uma avaliação diagnóstica sobre o tema equilíbrio químico.” Listas de Resumos do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ). Florianópolis- SC, 2016. Disponível em: < <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/listaresumos.htm>> Acesso em 04 de fev. de 2019.

Apêndices

Apêndice 1 – Termo TCLE

Título do Projeto: Levantamento de modelos mentais para verificação de aprendizagem significativa do conceito de equilíbrio químico em licenciandos em Química.

Pesquisadora responsável: Paola Gimenez Mateus

Nome do participante:

Idade:

R.G.:

Você está recebendo esse convite para participar, como voluntário (a), do projeto de pesquisa intitulado “*Levantamento de modelos mentais para verificação de aprendizagem significativa do conceito de equilíbrio químico em licenciandos em Química*”, de responsabilidade da pesquisadora Paola Gimenez Mateus, pós-graduanda em Química da Universidade Federal de São Carlos.

Solicito que, por gentileza, leia cuidadosamente as informações que seguem abaixo e em caso de dúvidas, estarei à disposição para retirá-las. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, se aceitar fazer parte desse estudo, favor preencher e assinar esse documento, que é composto por duas vias, sendo uma pertencente a você, participante, e a outra a pesquisadora.

Declaro ter sido esclarecido sobre os seguintes pontos:

I) Esse trabalho tem por finalidade avaliar as concepções que os discentes de um curso de Licenciatura em Química possuem sobre o conceito de equilíbrio químico, investigando se houve, por parte destes, aprendizagem significativa através da análise dos modelos mentais que esses discentes possuem sobre a temática.

II) A minha participação nesta pesquisa consistirá em responder um questionário que abrange conteúdos relacionados a temática equilíbrio químico, elaborar uma animação e participar de uma entrevista, elaborada pela pesquisadora responsável. Todas as atividades serão realizadas na própria instituição de ensino a qual pertencço. Para o questionário, estarão presentes todos os discentes que se voluntariarem a participar da pesquisa e a pesquisadora. As entrevistas serão individuais, estando presente apenas o(a) aluno (a) e a responsável pela pesquisa. Afim de colaborar com a análise dos resultados, essas últimas etapas serão registradas na forma de vídeo

e/ou áudio que terá uso restrito para essa pesquisa, preservando a identidade de cada discente participante.

III) Para a realização da pesquisa serão utilizados os seguintes instrumentos: um questionário inicial, elaboração de uma animação e uma etapa de entrevista. É possível que ocorra situações de constrangimento para os estudantes que farão parte da pesquisa nas etapas de aplicação dos questionários e/ou das entrevistas. No entanto, esclareço que você poderá abandonar a pesquisa a qualquer momento, por livre e espontânea vontade, caso se sinta atingido de alguma forma que o coloque em situação de desconforto. O mesmo deverá ocorrer com as entrevistas, já que é sempre possível a presença de alguma pergunta no roteiro de entrevista que lhe cause desconforto. Mais uma vez esclarecemos que todos os participantes da pesquisa serão tratados com sigilo e que nenhum participante terá sua identidade revelada em quaisquer formas de publicação dos resultados da pesquisa.

IV) Ao participar desse trabalho os licenciandos estarão contribuindo para o diagnóstico de aprendizagem sobre o tema "equilíbrio químico" por parte de discentes do curso de licenciatura em Química. Por ser um tema relevante no Ensino Médio e que apresenta sérios problemas de aprendizagem é necessário compreender como se dá a apropriação do conhecimento por parte daqueles que estão em processo de formação inicial. Somado a isso, a pesquisa também poderá servir de material de apoio para que os professores do Ensino Superior possam refletir sobre a formação inicial de professores com relação ao tema e sobre a maneira como o conteúdo é abordado hoje. Além disso, também poderei analisar, criticamente minha própria compreensão e consequente formação sobre o conteúdo para que possa atuar futuramente como docente de cursos de formação de professores de Química.

V) A participação dos estudantes de um curso de Licenciatura em Química no presente projeto deverá se dar em três diferentes momentos: a) por aproximadamente 1 hora e 30 minutos, necessários para responderem ao questionário b) aproximadamente 50 minutos para elaboração de uma animação; c) aproximadamente 20 minutos para responderem as questões da entrevista.

VI) Estarei ciente de que não terei nenhuma despesa ao participar da pesquisa e poderei deixar de participar ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e não sofrerei qualquer prejuízo.

VII) Fui informado e estou ciente de que a minha participação não envolverá nem o recebimento e nem o pagamento de nenhum valor econômico por minha participação e caso eu tenha qualquer despesa e/ou ocorra algum dano em decorrência da minha participação serei prontamente ressarcido e/ou indenizado.

VIII) Meu nome, assim como qualquer dado meu, será mantido em sigilo, assegurando assim a minha privacidade. Caso seja de meu interesse, terei livre acesso as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências.

IX) Fui informado que os dados coletados serão utilizados, unicamente e exclusivamente, para fins desta pesquisa.

X) No caso do aparecimento de dúvida ou questionamento, foi esclarecido que poderei entrar em contato com Paola Gimenez Mateus, pesquisadora responsável por essa pesquisa, através dos seguintes meios: telefone celular: (XX) XXXXX-XXXX e-mail: paolagimenezm@yahoo.com.br.

Eu, _____, RG nº _____
_____, CPF nº _____, declaro estar ciente de todos os itens listados acima referente a minha participação neste projeto de pesquisa aceitando, voluntariamente, participar do mesmo.

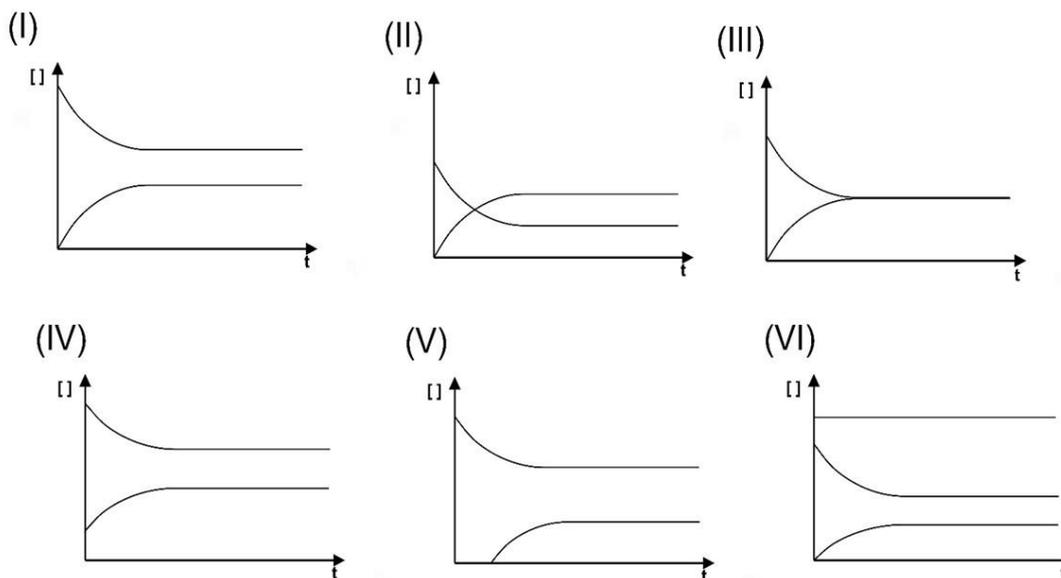
CIDADE, ____ de _____ de 2018.

Assinatura do participante

Assinatura da pesquisadora responsável

Apêndice 2 - Questionário

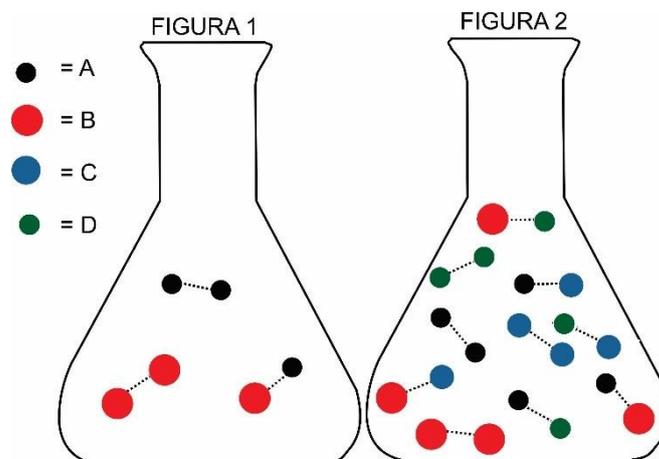
Questão 1. Observe as seguintes representações gráficas



Analisando o perfil de cada gráfico e baseado em seu conhecimento sobre o equilíbrio químico, julgue os seguintes itens a seguir como verdadeiro ou falso:

- () Apenas o gráfico 3 pode representar uma situação de equilíbrio químico
- () Todos os gráficos, com exceção do 6, podem representar situações de equilíbrio químico
- () Apenas os gráficos 1, 2, 3 e 4 podem representar situações de equilíbrio químico
- () Todos os gráficos, com exceção do 5, podem representar uma situação de equilíbrio químico
- () Todos os gráficos, sem exceções, podem representar situações de equilíbrio químico

Questão 2. Um professor de química, afim de verificar a compreensão sobre o estado de equilíbrio químico, solicitou a seus alunos que elaborassem dois esquemas que pudessem representar os possíveis choques intermoleculares de uma reação genérica do tipo $A + B \rightleftharpoons C + D$ ($K = 10^1$) no início da reação (Figura 1) e no estado de equilíbrio (Figura 2). Um dos seus alunos elaborou os seguintes esquemas, onde “----” foi utilizado para representar o choque:



Avalie a representação do aluno nas Figuras 1 e 2, julgando se podem ou não representar bem o fenômeno e justifique sua resposta.

Questão 3. Considere a reação hipotética $B \rightarrow C$, com B representado por esferas azuis e C por esferas verdes nas sequências apresentadas nas Figuras 1 e 2. Considerando que as sequências, da esquerda para direita, simulam o sistema à medida que o tempo passa, responda: É possível afirmar que o sistema atingiu o estado de equilíbrio na Figura 1? E na Figura 2? **Justifique** ambas respostas.

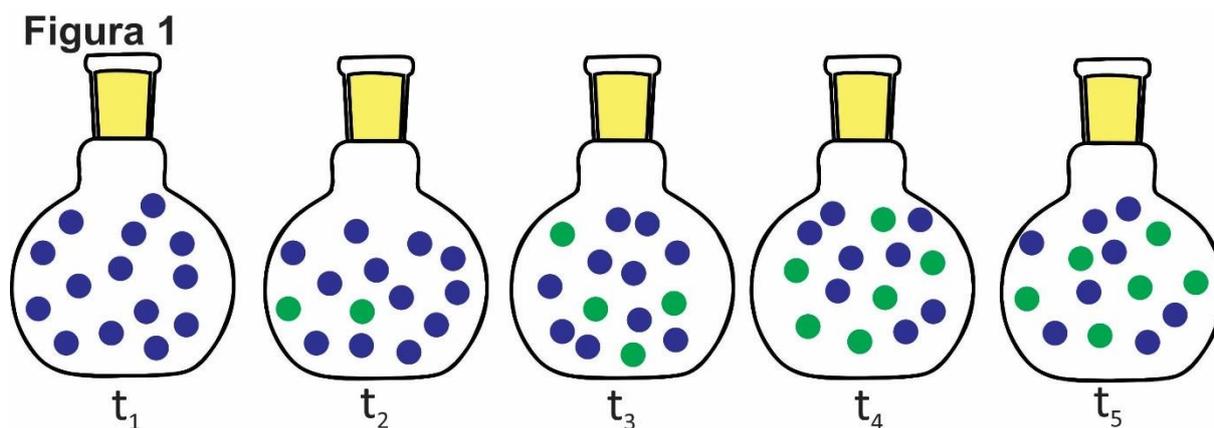
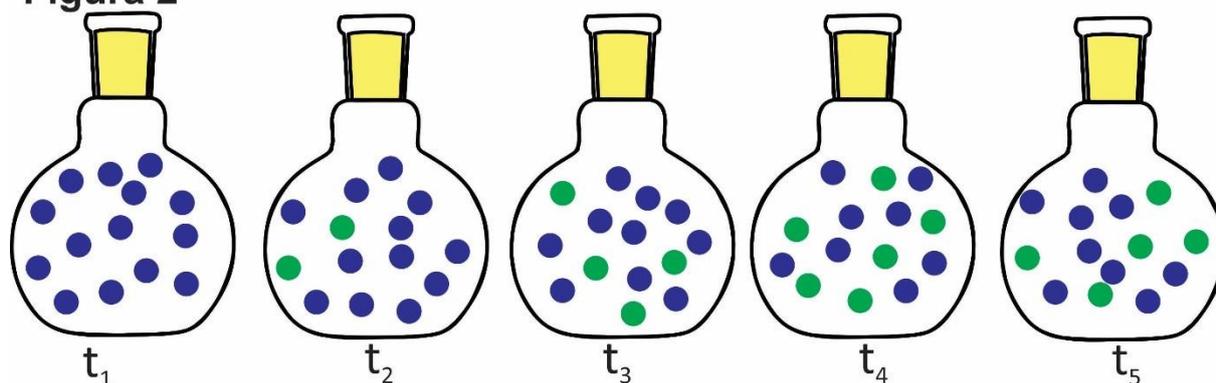
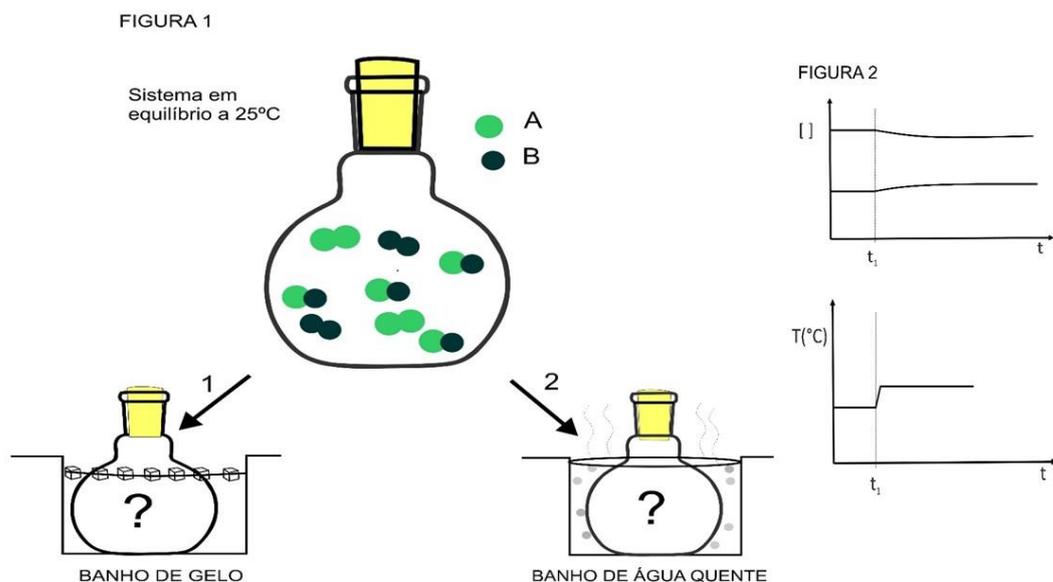


Figura 2



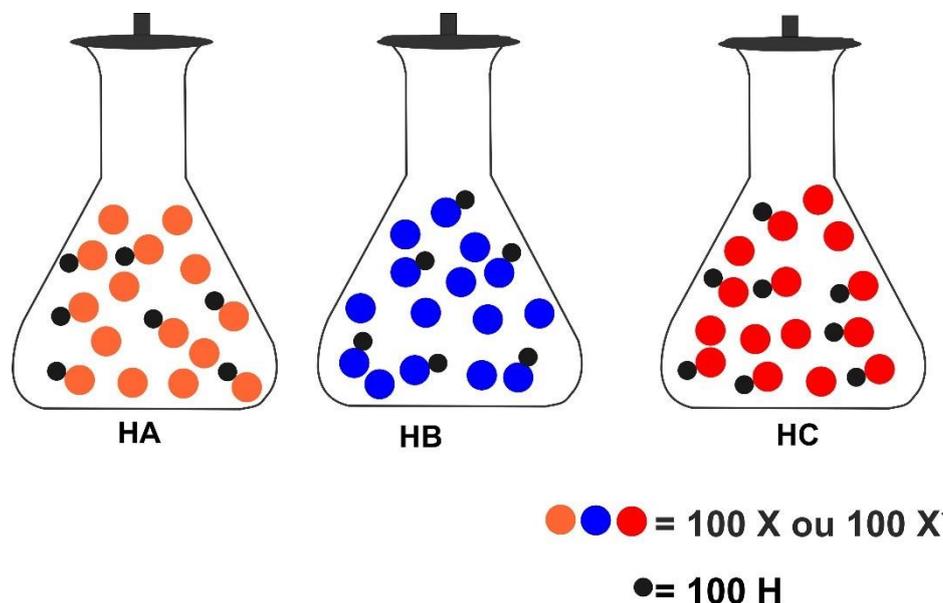
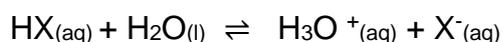
Questão 4. Afim de explorar a dinamicidade do estado de equilíbrio da reação genérica $A_{2(g)} + B_{2(g)} \rightleftharpoons 2AB_{(g)}$, um professor de química misturou as espécies reagentes em um balão volumétrico fechado e esperou até que a reação atingisse o equilíbrio. Em seguida, colocou o balão em banho de gelo, esperando que novamente o sistema atingisse o equilíbrio (estado 1). Esse procedimento foi repetido, porém colocando o balão volumétrico em um banho de água quente (estado 2). Isso a pressão constante. A figura 1 ilustra essa situação:



Os gráficos da Figura 2 correspondem ao comportamento do sistema no sentido (Fig. 2.1) $A_{2(g)} + B_{2(g)} \rightleftharpoons 2AB_{(g)}$ frente a variação de temperatura realizado em um outro estudo (Fig 2.2), cuja finalidade foi determinar se a reação de formação de AB era um processo endotérmico ou exotérmico. Baseado nessas informações, responda:

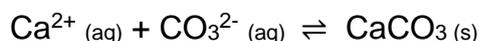
- Qual a resposta do sistema ao realizar a experiência 1? **Explique** sua resposta com base no comportamento em nível molecular para as espécies A e B. Caso necessário, faça desenhos.
- Qual a resposta do sistema ao realizar a experiência 2? **Explique** sua resposta com base no comportamento em nível molecular para as espécies A e B. Caso necessário, faça desenhos.

Questão 5. A figura a seguir representa o equilíbrio de ionização de soluções preparadas com a mesma quantidade de matéria (mol) de cada um dos ácidos HA, HB e HC, respectivamente. Nessas representações foram omitidas as moléculas de água e íon hidrônio.

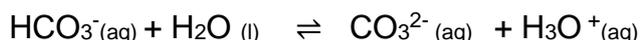
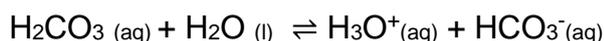


- em uma verificação de pH, qual dos ácidos deve apresentar o menor e o maior valor de pH? **Justifique** sua resposta.
- qual ácido possui a maior constante de ionização? **Justifique** sua resposta.

Questão 6. Os recifes de corais são ecossistemas muito ricos em biodiversidade, abrigando uma infinidade de peixes, moluscos, crustáceos e algas, encontrados exclusivamente em águas marítimas quentes. Os corais contêm grande quantidade de CaCO_3 que torna parte de sua estrutura esquelética, a sua formação pode ser representada pela seguinte reação:



Apesar de sua grande importância, os recifes de corais encontram-se ameaçados no mundo inteiro devido as emissões antropogênicas (derivados de atividades humanas) elevadas de dióxido de carbono. Com base em seus conhecimentos de química e nas reações apresentadas abaixo, explique por que emissões antropogênicas elevadas de dióxido de carbono ameaçam a existência de corais.



Questão 7. Julgue os seguintes itens como verdadeiro ou falso

() Uma dada reação química atingirá o estado de equilíbrio químico quando a reação cessar devido a velocidade da reação de formação de produto e a de formação de reagente se igualarem, sendo esse um princípio básico do equilíbrio

() Uma dada reação química atingirá o estado de equilíbrio quando as concentrações de reagentes e de produtos finalmente se igualarem, devido as velocidades das reações de formação de produto e a de formação de reagente também se igualarem

() Uma dada reação química atingirá o estado de equilíbrio quando as concentrações de reagentes e produtos se tornam constantes, mas não necessariamente iguais

() Uma dada reação química atingirá o estado de equilíbrio quando há conversão de praticamente todos os reagentes em produtos, ao passo que poucos reagentes sejam encontrados no meio reacional

() Para a reação do tipo $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$, o equilíbrio poderá ser atingido partindo de concentrações iniciais de A e B e/ou C e D

() Para a reação do tipo $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$, o equilíbrio poderá ser atingido apenas partindo de concentrações iniciais de A e B

() Para a reação do tipo $A + B \rightleftharpoons C + D$, o equilíbrio poderá ser atingido partindo de concentrações iniciais de A ou B e C ou D

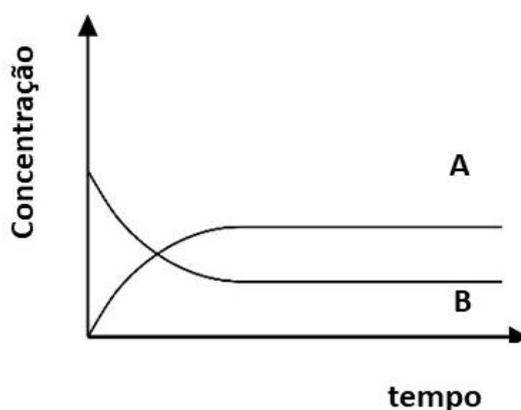
Apêndice 3 – Roteiro da entrevista semi-estruturada

Questões introdutórias

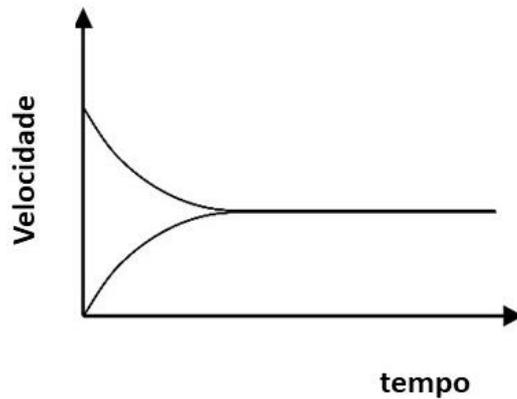
- I. Você estudou EQ no Ensino Médio?
- II. Você está em qual semestre / ano de curso? A partir de qual momento teve contato com EQ na graduação?
- III. Seus professores conversavam com a turma sobre o tema ou já iniciavam o conteúdo propriamente dito?

Questão da entrevista

1. a) que pensamento lhe vem à cabeça quando escuta falar de reação química?
b) o que é preciso para essa reação que você imaginou ocorrer? Por quê?
c) como você costuma imaginar a ocorrência dessa reação?
d) que pensamento lhe vem à cabeça ao ouvir falar de equilíbrio químico? Você imagina todo o processo?
2. a) ao ler o enunciado de algum problema de química, como por exemplo um que descreve duas moléculas, e/ou átomos, interagindo entre si, sendo fornecidas como informações apenas as espécies reagentes (A e B) e produtos envolvidos (C e D), o que você costuma imaginar? Você costuma imaginar as espécies, bem como suas interações?
3. a) O que vêm à mente ao ver esse gráfico?

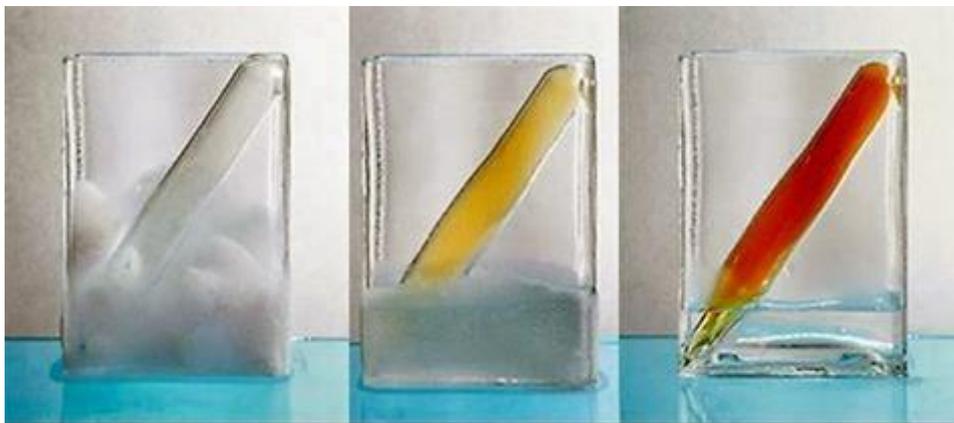


- b) E esse?



4. Nas aulas, os professores costumam ministrar os conteúdos em qual dos níveis, principalmente?

5. a) sabendo que o N_2O_4 é incolor e o NO_2 possui uma coloração avermelhada/marrom, o que lhe vem à cabeça ao olhar as seguintes imagens?



b) Sabendo que a reação envolvida é $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$, como você interpreta cada figura?

c) represente a maneira na qual imaginou.

6. O que vêm à mente ao ver esse símbolo: “ \rightleftharpoons ”

7. a) considere a seguinte reação genérica $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$. O que vem em sua mente ao ver essa equação?

- b) Como você representaria a reação inicialmente e no estado de equilíbrio se tivesse que fazer um desenho?
- c) O que acontece ao adicionar a espécie B no sistema em equilíbrio por você imaginado no item b? Por que?

Apêndice 4 – Sequência didática resumida do minicurso

Encontro	ATIVIDADE	PROPÓSITO	MATERIAS DE APOIO	Tempo aproximado (min)
1	1.1	Apresentação dos objetivos e planejamento do minicurso	Power Point	180
	1.2	Apresentação do questionário inicial	Questionário impresso	
	1.3	Levantar as concepções da discente frente as problemáticas do ensino em Química	Lousa e giz	
	1.4	Apresentar e discutir com os discentes os principais problemas já relatados referente ao processo de ensino e aprendizagem de Química	Power Point e artigos	
2	2.1	Verificar a visão dos discentes referente ao uso de animações em sala de aula	Power Point	180
	2.2	Discussões sobre o uso de animações no ensino de química, como elaborar animações e planejamento da animação teste	Power Point, artigos, Kit <i>stop motion</i> , celular com câmera, aplicativo Pic Pac ou software Movie Maker (e nesse caso, computadores)	
3	3.1	Planejamento e elaboração das animações pelos licenciandos (coleta de dados)		180
4	4.1	Discussões sobre a experimentação no ensino de Química	Power Point, experimentos de baixo custo realizados no laboratório didático.	180
	4.2	Realização e reflexões sobre experimentos de baixo custo		

		(presentes na literatura) envolvendo o conceito de EQ pelos licenciandos		
5	5.1	Discussões sobre o uso de atividades lúdicas no ensino de Química	Power Point, bolas de isopor, caixa de sapato e notebook com o programa Excel	180
	5.2	Realização e reflexões, por parte dos discentes, de um jogo proposto na literatura para o ensino do conceito de equilíbrio químico		
6	6.1	Realização da entrevista semi-estruturada	Aplicativo de gravação e roteiro da entrevista	40m

Foram selecionadas três atividades experimentais de baixo custo para serem executadas pelos alunos durante o minicurso. A primeira corresponde ao experimento envolvendo a variação de pH em água mineral gaseificada, proposta por FERREIRA et al. 2008. Foi escolhida a opção número 2, no qual foi utilizado o indicador de repolho roxo para acompanhar as alterações no equilíbrio de ionização do ácido carbônico.

As outras duas atividades correspondem à algumas daquelas descritas por FERREIRA et al. 1997. Foram escolhidos os experimentos “Efeito do íon comum: equilíbrio de ionização da amônia”, no qual sugerimos a troca da “solução amoniacal para limpeza” descrita pelos autores (FERREIRA et al., 1997, p. 28) pelo amoníaco, encontrado em supermercados.

Ainda com relação a esse experimento, ressaltamos que a solução de fenolftaleína deve ser preparada, pois essa substância não faz mais parte da composição do medicamento, conforme sugerido na época do artigo. O outro experimento selecionado foi “Efeito da concentração: equilíbrio de hidrólise do íon bicarbonato” (FERREIRA et al. 1997). Uma alternativa de indicador para este último experimento é o uso de extrato de repolho roxo, conforme utilizado neste trabalho.

Com relação ao jogo, foi escolhido aquele proposto inicialmente pelos autores SOARES et al. (2003), porém com algumas modificações sugeridas pelos autores CHEMELLO e PEREIRA (2016).

Fontes das atividades experimentais e do jogo utilizados no minicurso:

CHEMELLO, E. & PEREIRA, L. F. “Química: Jogando com os equilíbrios”. Disponível em: <<https://redes.moderna.com.br/2016/11/29/jogando-com-os-equilibrios-quimicos/>>. Acesso em 11 jun. 2018.

FERREIRA, L. H., HARTWIG, D. H. & ROCHA-FILHO. “Algumas experiências simples envolvendo o Princípio de Le Chatelier”. Química Nova na Escola. (5): 28, 1997.

FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R. & OLIVEIRA, R. C. “Variação de pH em Água Mineral Gaseificada”. Química Nova na Escola. (3): 70, 2008.

SOARES, M. H. F. B.; OKUMURA, F. & CAVALHEIRO, E. T. G. “Proposta de um Jogo Didático para Ensino do Conceito de Equilíbrio Químico”. Química Nova na Escola . (18): 13, 2003.

Apêndice 5 – Kit *stop motion*

