



Aspectos da aprendizagem sobre Equilíbrio Químico em diferentes níveis de cognição

Aspects of learning about Chemical Equilibrium at different levels of cognition

Marco Antonio Bueno Filho¹ y Edson Cassius Duarte Lopes¹

Recepción: 12-08-2020

Aceptación: 13-02-2021

Resumo

Foram investigados esquemas de ação utilizados por alunos de graduação envolvendo tarefas sobre equilíbrio químico em diferentes níveis de cognição. As transcrições oriundas do registro audiovisual foram submetidas à Análise Textual Discursiva tendo como base a Teoria dos Campos Conceituais. Os esquemas de ação no campo estrutural molecular envolvendo o equilíbrio químico são caracterizados pelo uso instrumental de conceitos pertinentes ao modelo explicativo cientificamente aceito em concomitância com conceitos que se comunicam com concepções alternativas já relatadas na literatura. Além disso, há diferenças significativas no emprego de conceitos e de invariantes operatórios quando se transitam de tarefas de baixa ordem cognitiva para alta ordem para este mesmo campo de conceitos.

Palavras-chave:

Equilíbrio Químico, Invariantes operatórios, Habilidades cognitivas.

Abstract

In this work, we accessed information about the schemes of action used by undergraduate students in tasks about chemical equilibrium involving different levels of cognition. The transcripts derived from audiovisual recording underwent Discourse Textual Analysis based on the Theory of Conceptual Fields. Schemes of action at the molecular structural field involving the Chemical Equilibrium are characterized by the instrumental use of the relevant explanatory model in tandem with scientifically accepted concepts that communicate with alternative conceptions previously reported in the literature. Furthermore, there are significant differences in the use of concepts and operational invariants when switching from low-order cognitive tasks to high-order for the same concept fields.

Keywords

Chemical Equilibrium, Operational Invariants, Cognitive Skills.

¹ Universidade Federal do ABC. <http://orcid.org/0000-0003-0480-659X>. Contacto: marco.antonio@ufabc.edu.br.

Introdução

Frequentemente, as abordagens encontradas sobre o equilíbrio químico nos livros didáticos bem como as observadas em sala de aula, tendem a enfatizar aspectos algorítmicos e quantitativos em detrimento de uma abordagem qualitativa com vistas à compreensão do modelo explicativo em modo atômico molecular (Machado e Aragão, 1996). As dificuldades conceituais subjazem à elaboração, por parte dos alunos, de um modelo explicativo frágil na medida em que a representação submicroscópica das espécies envolvidas em um sistema em equilíbrio químico frequentemente desconsidera aspectos importantes: a ideia de sistema; a necessidade do contato entre as diferentes espécies para que uma dada transformação ocorra; conceber que nem todas as espécies em livre movimentação em um fluido possuem energia suficiente para reagir (espectadores); diferenciar a conservação de massa relativa à transformação química do número total de partículas que compõe o sistema; em processos elementares, supor a sincronicidade entre a ruptura e a formação de novas ligações químicas, dentre outras (Raviolo e Aznar, 2003; Quilez-Pardo e Solaz-Portolés, 1995; Bergquist e Heikkinen, 1990).

Conceber a dinâmica das espécies em transformações químicas reversíveis, não é uma tarefa trivial tanto do ponto de vista da construção do modelo por quem está aprendendo quanto do planejamento didático. Trata-se de estabelecer relações conceituais articuladas pertinentemente a operações gerais do pensamento tais como estabelecer comparações, efetuar inferências e conceber sincronicidade de eventos, por exemplo. Partindo desta premissa, este estudo busca informações sobre como as operações gerais do pensamento mobilizadas por estudantes durante a resolução de tarefas que versam sobre transformações em equilíbrio químico se articulam aos conteúdos conceituais, sejam estes alternativos ou não. Pretende-se também investigar sobre como o núcleo conceitual e as operações do pensamento são mobilizados em tarefas de diferentes níveis de cognição, tal como passaremos a apresentar.

Marcos teóricos

Resolução de tarefas, esquemas e invariantes operatórios

Gérard Vergnaud parte da premissa que o conhecimento está organizado em campos de conceitos e que estes emergem da resolução de um conjunto de tarefas. Durante a resolução de tarefas, denominadas *situações* neste arcabouço teórico, é requerido o domínio progressivo de conceitos, de procedimentos aliados às operações gerais do pensamento e de representações simbólicas (Vergnaud, 1990). No âmbito da das transformações no estado de equilíbrio químico trata-se de uma elaboração conceitual que não se dá em apenas uma única ocasião, mas a partir de um conjunto de tarefas, algumas bastante difundidas em materiais didáticos quando se pensa no ensino sobre este tópico: leitura de gráficos, cálculo de constantes de equilíbrio a partir das concentrações de reagentes e de produtos e outras menos comuns tais como conceber a dinâmica das partículas em um sistema em equilíbrio químico. Podem ser demandados do estudante conhecimentos de campos diversos tais como o entendimento sobre a nomenclatura química, a simbologia utilizada para representar as transformações químicas, o que é um sistema, uma molécula ou interações intermoleculares ou a leitura de gráficos e o uso de operações algébricas típicas da matemática, por exemplo.

Uma vez estabelecida a interação com as situações e a reboque do domínio que progressivamente alcança sobre elas, é que o estudante elabora os campos de conceitos que constituem seu repertório de conhecimentos. Por outro lado, ainda que o domínio das situações exerça influência sobre o conhecimento que o estudante alcança, o sentido atribuído pelo sujeito não está na situação em si mesma, senão que decorre da relação entre a situação e a representação que dela faça o sujeito (Moreira, 2002).

O vínculo estabelecido entre o sujeito e a situação requer determinadas formas de conduta guiadas por representações internas. Estas formas de conduta são denominadas por Vergnaud como *esquemas*, entes acessíveis ao sujeito atuando como organizadores efetivos do pensamento e do agir conscientes (Vergnaud, 2003 apud Bronckart, 2007, p. 133). Nesta acepção, boa parte do conhecimento de um indivíduo é caracterizada por competências, entendidas como um amálgama indissociável entre o núcleo conceitual e as operações gerais do pensamento, durante a ação sobre uma determinada situação traduzindo-se em esquemas de ação – principais estruturadores do pensamento humano (Bronckart, 2007).

Retornando ao equilíbrio químico, os esquemas de ação – os modos como as situações são resolvidas – podem comportar operações do pensamento implícitas à resolução de situações típicas deste campo tais como, estabelecer relações de comparação entre estado inicial e estado final de reagentes e de produtos, conceber a proporcionalidade nas relações ponderais ou a simultaneidade de eventos quando se considera que em um sistema parte das de moléculas de reagentes e de produtos convertem-se entre si, dentre outras possibilidades a serem investigadas.

O amálgama formado pelas operações do pensamento (comparações e construção de hipóteses, por exemplo) e os conteúdos conceituais denomina-se invariante operatório (Vergnaud, 2009). O modo como eles se relacionam entre si e às representações simbólicas caracteriza as ações dos sujeitos durante o enfrentamento das situações tal como passaremos a apresentar adiante na discussão dos resultados.

Para Vergnaud (1990) um problema teórico essencial ao estudo da conceitualização consiste em analisar os significantes verbais e não verbais que dão ao conceito sua característica pública, com o objetivo de identificar as proposições implícitas. Estas proposições implícitas figuram, então, como o cerne subjacente às ações referentes a resolução de uma dada tarefa. São os invariantes operatórios, enquanto operações do pensamento, que fazem a articulação essencial entre teoria e prática, pois a percepção, a busca e a seleção de informação baseiam-se inteiramente neles (Moreira, 2002).

Metodologia

Foram convidados por meio das redes sociais estudantes do Bacharelado em Ciência & Tecnologia para participar deste estudo, um dos cursos interdisciplinares de ingresso da Universidade Federal do ABC. Solicitava-se ter cursado com aprovação uma disciplina de química geral em que este tópico foi abordado e ainda não ter iniciado os Bacharelados ou Licenciaturas específicas. Com este recorte, esperava-se avaliar o conhecimento construído sobre o equilíbrio químico após a disciplina generalista de química do curso de interdisciplinar de ingresso, porém ainda sem a influência dos conteúdos dos cursos específicos. Como efeito, 10 estudantes entre 20 e 25 anos atenderam ao chamado sendo todos aprovados na disciplina de Transformações Químicas há pelo menos dois

quadrimestres. Durante o terceiro quadrimestre de 2012, momento em que participaram do estudo, cursavam disciplinas diversas do Bacharelado em Ciência & Tecnologia não relacionadas a conteúdos químicos.

Três situações foram planejadas com vistas a detalhar o processo de conceituação sobre equilíbrio químico e apresentadas individualmente aos estudantes em horário extraclasse. A primeira situação, de cunho algorítmico e frequentemente abordada na disciplina de química geral cursada pelos participantes deste estudo, versava sobre o cálculo da constante de equilíbrio em função das concentrações molares, K_c , para a síntese da amônia gasosa a partir de nitrogênio e hidrogênio gasosos.

As demais situações tinham como objetivo compreender como os estudantes concebiam o equilíbrio químico em modo submicroscópico. Deveriam descrever, por meio de desenhos e textos, como as moléculas que compunham o sistema se comportariam em determinadas extensões de reação (antes e após o sistema atingir o equilíbrio a volume constante) e quais modificações ocorreriam quando da adição de reagentes ou de um gás inerte, no caso o argônio.

Estas situações foram classificadas quanto ao nível de cognição na acepção de Zoller *et al.* (2002). Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem – LOCS¹ são caracterizadas por capacidades que requerem conhecer, recordar a informação e/ou aplicar conhecimentos ou algoritmos memorizados em situações familiares e resolução de exercícios. Habilidades Cognitivas de Alta Ordem – HOCS², por sua vez, são caracterizados por problemas não familiares para o estudante, que requerem na resolução, conhecimento adicional, aplicação, análise e capacidades sintéticas, tal como efetuar conexões conceituais e evocar estratégias avaliativas. Cabe ressaltar que, em estudo anterior, Zoller *et al.* (1995) encontraram um desempenho maior obtido por estudantes de três instituições de ensino superior em questões de cunho algorítmico – ALG³ quando comparado ao desempenho em questões LOCS e HOCS. Segundo estes autores, muito embora se esperasse alguma correlação dos desempenhos em questões ALG com LOCS, distinguem-se entre si ao passo que questões algorítmicas requerem do estudante principalmente memória e técnicas de resolução enquanto LOCS são caracterizadas por alguma demanda conceitual mais elaborada. Marcondes e Suart (2008) ao encontro de Zoller *et al.* (2002) consideram que as questões de cunho algorítmico (ALG) podem ser tratadas como uma categoria única ou como uma subcategoria das LOCS. Diante do exposto, a Tabela 1 localiza as situações propostas em função do nível de cognição.

Situação	Descrição	Nível de Cognição
S1	Cálculo de K_{eq} para formação de $NH_3(g)$ em uma dada temperatura a partir de concentrações fornecidas de reagentes e de produtos em equilíbrio químico.	ALG/ LOCS
S2	Representar o sistema a volume constante no início da reação e no estado de equilíbrio químico. Representar e prever a composição do sistema, a volume constante, no início da reação e no estado de equilíbrio químico quando a pressão parcial de $N_2(g)$ é aumentada.	LOCS
S3	Representar e prever a composição do sistema em estado de equilíbrio químico quando, a volume constante, é inserido um gás inerte, argônio.	HOCS

TABELA 1. Situações referentes ao sistema

$$N_{2(g)} + 3 H_{2(g)} \rightleftharpoons 2 NH_{3(g)}$$

¹ Lower Order Cognitive Skills.

² Higher Order Cognitive Skills.

³ Segundo Zoller *et al.* (1995) questões algorítmicas são as que requerem o uso de um conjunto de procedimentos memorizados para resolução.

Vergnaud (2009) sugere estudar sujeitos em ação como caminho para inferir invariantes operatórios. Organizaram-se encontros em que os participantes da pesquisa foram convidados a responder às situações propostas no instrumento de coleta de dados e explicitar oralmente como fizeram para resolvê-las. Para auxiliá-los a explicitar as etapas do raciocínio, foram fornecidas esferas em massa de modelar a fim de representar átomos. Todas as etapas foram registradas em vídeo mediante autorização firmada em Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e, posteriormente, transcritas com o auxílio do programa Transana⁴. As transcrições das falas e dos gestos foram tratadas respeitando-se preceitos da Análise Textual Discursiva (ATD) na acepção de Galiazzi e Moraes (2006). Este processo consiste na seleção de pequenos trechos de textos (unidades de significado) com a função de transformar dados brutos em subconjuntos manejáveis. Neste estudo, as seleções das unidades e as atribuições de significados foram auditadas por pares considerando-se como final o diagrama consensual resultante de confrontos em reuniões do grupo de pesquisa, conforme a Tabela 2:

Dimensão	Definição
D1 - Conceitual	Emerge da resolução de tarefas e se conecta a invariantes operatórios e às representações simbólicas relacionadas ao equilíbrio químico.
D2 - Invariantes Operatórios	São teoremas e ideias implícitas ou explícitas acionadas durante a ação dos sujeitos e caracterizadas por operações lógicas gerais do pensamento aliadas a conteúdos conceituais.
D3 - Estruturadas Explicações	Estrutura que caracteriza a sequência das ações do aluno. Comporta a elaboração de justificativas e a construção de inferências.
D4 - Gestos	Movimentos portadores de significados efetuados pelos sujeitos em ação. Relacionam-se diretamente aos conceitos e invariantes operatórios implícitos nas ações.

TABELA 2. Dimensões consideradas na análise de dados.

Quanto à dimensão gestual cabe lembrar que Vergnaud (1990) dá especial atenção aos gestos que acompanham as ações dos indivíduos, pois os considera fundamentais à inferência de conceitos e de invariantes operatórios implícitos nos esquemas de ação. McNeill (1992) situa os diferentes tipos de gestos em cinco tipos: coesivos, demonstrativos, icônicos, batidas de repetição e metafóricos. Destes, em especial, os gestos metafóricos ocupam lugar de destaque neste estudo uma vez que dão indícios dos conceitos e dos invariantes operatórios correspondentes à elaboração submicroscópica por parte dos indivíduos. Segundo McNeill (1992), os gestos metafóricos refletem conteúdos de ideias abstratas. Diferente dos gestos icônicos que se conectam a entes tangíveis, referem-se às abstrações tais como os eventos relacionados à dimensão molecular, por exemplo.

Resultados e Discussão

O domínio sobre um determinado campo conceitual requer tempo, seja pela experiência direta na resolução de tarefas ou pelo contato com diversos modelos explicativos durante o percurso formativo. Assim, muito embora se tratassem de alunos que já haviam cursado disciplinas em o equilíbrio químico fora formalmente abordado, os esquemas de ação por eles mobilizados caracterizaram-se por relações conceituais lábeis e muitas vezes não pertinentes, frequentemente permeadas por concepções alternativas já relatadas na literatura por Machado e Aragão (1996), Quilez-Pardo e Solaz-Portolés (1995) e Raviolo e Aznar (2003). Trata-se, portanto, de um instantâneo da trajetória acadêmica em que

⁴ Disponível em <https://www.transana.com/>, acessado em 12 de agosto de 2020.

os alunos se encontravam. Organizamos os conceitos inferidos a partir das transcrições como *em acordo* ao modelo cientificamente aceito ao equilíbrio químico e *em desacordo ou alternativos*, conforme apresentado na Tabela 3.

	Conceitos	Definição
GRUPO I – Em acordo	Ia - Colisões	Espécies químicas em solução ou mistura gasosa são passíveis de colisões efetivas e não efetivas.
	Ib - Energia	Transformações químicas sejam em suas etapas elementares quanto globalmente absorvem ou liberam energia.
	Ic - Formação e consumo de produtos	Formar produtos e consumi-los requer o rompimento e formação de ligações químicas.
	Id - Espécies químicas ocupam volume	Enquanto entes portadores de massa ocupam um lugar no espaço.
	Ie - Espécies participantes / espectadoras	Em um dado momento considerar a existência de espécies participantes da etapa elementar, enquanto outras não ainda em um dado momento.
	If - Presença de produto antes do estado de equilíbrio	Conceber a presença de produto antes do sistema atingir o estado de equilíbrio químico.
	Ig - Sistema	Considerar as reações de ordens direta e inversa no mesmo recipiente.
	Ih - Velocidade	Transformações químicas se processam em determinada extensão por tempo.
GRUPO II – Em desacordo	Ila - Formas alternativas de reagir	O aluno não concebe colisões entre as espécies; propõe alternativas para explicar a ocorrência da reação.
	Ilb - Existência de outras espécies que não estão indicadas na reação	Participação de espécies que não estariam envolvidas na transformação química de fato, frequentemente possíveis intermediários ou subprodutos não pertinentes à situação.
	Ilc - Fim no Equilíbrio Químico	Concebe-se que em modo submicroscópico o sistema não mais se altera quando o estado de equilíbrio químico é atingido.
	Ild - Formação e dissociação de produtos em tempos diferentes no equilíbrio	Concebe-se formação e dissociação de produtos, entretanto não eventos concomitantes. Existe intervalo temporal entre a dissociação de reagentes após ocorrer a formação de produto.
	Ile - Igualdade no estado de equilíbrio	Relaciona-se o equilíbrio químico a algum tipo de igualdade, o de concentrações geralmente.

TABELA 3. Conceitos implícitos nos esquemas de ação em acordo (Grupo I) e em desacordo (Grupo II) com o modelo cientificamente aceito para o equilíbrio químico.

Quanto aos invariantes operatórios, cumpre lembrar que são formados pelo elo dos conteúdos conceituais com as operações do pensamento. Como operações, prospectaram-se da análise das transcrições a *concepção de hipóteses sobre eventos submicroscópicos* (comportamento, consumo ou a formação de espécies no sistema); a livre movimentação de espécies em um fluido; e a simultaneidade de eventos. Operações estas, articuladas, sobretudo, nas justificativas elaboradas pelos alunos durante a resolução de cada uma das situações (Tabela 4).

Da inspeção das explicações dadas pelos alunos quando se tratava detalhar a composição do sistema e a dinâmica das partículas em diferentes extensões reacionais tem-se que, de modo geral, frequentemente relacionaram espécies em *livre movimentação* à energética traduzida na velocidade dos entes moleculares conforme o modelo colisional.

TABELA 4. Operações do pensamento alinhadas às justificativas e conteúdos conceituais prospectadas a partir das transcrições das falas dos alunos.

Operações do Pensamento	Definição
Conceber hipóteses sobre eventos submicroscópicos	O aluno formula hipóteses seja sobre a extensão da reação, o comportamento das espécies ou as interações existentes no sistema em um dado momento ou em um tempo futuro.
Livre movimentação molecular	Concebem-se espécies como capazes de livre movimentação em um fluido.
Simultaneidade de eventos	Existência de simultaneidade entre dois ou mais eventos. Por exemplo, a concomitância do consumo de reagentes e formação de produtos e vice-versa antes e após o sistema atingir o estado de equilíbrio químico.

Merecem destaque, também, as alusões à *simultaneidade de eventos submicroscópicos* alinhadas à formação e ao consumo de produtos e reagentes. Muito presentes em diversas explicações, estas ideias, no entanto, nem sempre se articularam de modo coerente quando se considera os esquemas de ação em seus aspectos mais abrangentes e qualitativos. O aluno A2, por exemplo, recorreu à igualdade das velocidades das reações em ordem direta e ordem inversa no momento em que o sistema atingia o equilíbrio químico aludindo à simultaneidade das rupturas das ligações das espécies envolvidas *ao mesmo tempo* em que concebeu o estado de equilíbrio como aquele em que as concentrações de reagentes e produtos se igualariam, semelhante ao relatado por Barke *et al.* (2009). O manejo de conceitos e operações do pensamento pertinentes resultando em um esquema de ação qualitativamente *desconectado do modelo cientificamente aceito* pode ser explicitado no excerto das falas do aluno A3, conforme a Figura 1.



A3: (0:01:03.8 - enlace a) como o nitrogênio tem uma eletronegatividade, ele acaba atraindo a molécula de hidrogênio pra ele... eu acho que a ligação que tem dentre esse hidrogênio não é forte o suficiente para manter eles quando tão perto do (hidrogênio), então as moléculas se separam... vai acontecer com várias delas... e depois disso tem a formação da amônia... (...)

A3: (0:02:11.1 - enlace b) dependendo da reação pode ser que forme mais produto de uma vez ou menos produto (antes do equilíbrio)... **(0:02:36.0 - enlace b)** e aí quando chega no estado de equilíbrio a concentração de produto vai ser a mesma concentração que você tem de reagente... (...)

A3: (0:02:52.7 - enlace c) Acho que elas estão em constante movimento porque como a reação ela é uma reação que tem a seta... a dupla seta né de vai e volta... **(0:03:03.7 - enlace c)** então ocorre constante formação e ao mesmo tempo a liberação de nitrogênio e hidrogênio... então ela fica formando o equilíbrio, não para de se movimentar... (...)

A3: (0:04:18.6 - enlace d) Se dissocia vai uma molécula de N₂ e uma molécula/ eu posso formar NH₂ também ou posso formar outros produtos que não sejam amônia... eu acho que isso pode acontecer porque como elas não são obrigadas a se dissociar todas de uma vez só elas podem ir se dissociando aos poucos e se associando aos poucos também...

FIGURA 1. Esquema de ação mobilizado pelo aluno A3, referente à situação S2.

Nestes enlacs, A3 utiliza o quadro negro para representar as espécies envolvidas como se estivessem em um único compartimento, porém, com moléculas dos reagentes arranjadas à esquerda e as do produto à direita. Além disso, concepções divergentes do modelo explicativo vigente são evidenciadas nas justificativas: a teoria colisional dá lugar à reatividade motivada por fatores estruturais, eletronegatividade no caso, seguida da formação de espécies que não pertenceriam ao sistema (NH₂).

No que tange à movimentação molecular e a simultaneidade de eventos, em hipótese desejáveis ao bom desempenho em situações que versam sobre o equilíbrio químico, curiosamente, articulam-se à representação simbólica e não às espécies propriamente ditas: há livre movimentação, formação e consumo de reagente por causa da reversibilidade implícita na representação simbólica, a dupla seta.

Por outro lado, A3 também formula a hipótese da presença do produto antes mesmo do sistema atingir o estado de equilíbrio, porém, defendendo, assim como A2, que atingir o equilíbrio as concentrações de reagentes e de produtos seriam igualadas.

Trata-se de um exemplo bastante interessante em nossa opinião: conceber espécies em fluido como entes passíveis de livre movimentação, efetuar hipóteses, conceber a existência de produtos em modo concomitante com os reagentes, não impede o surgimento de concepções alternativas. Não basta apenas utilizar conceitos e invariantes operatórios pertinentes ao modelo explicativo, mas relacioná-los pertinentemente entre si vinculando-os à representação submicroscópica para produzir uma proposta compatível ao modelo vigente. Um panorama das sobreposições temporais que caracterizam os esquemas mobilizados para todos os participantes deste estudo é mostrado na Figura 2. Nos momentos iniciais da investigação pensava-se como hipótese ser possível descrever os esquemas de ação com base apenas nos conceitos em acordo com o modelo explicativo aceito para o equilíbrio químico (conceitos do Grupo I) e com base nos invariantes operatórios inferidos via ATD.

Exceto A1 e A8, todos os participantes mobilizaram esquemas caracterizados por uma elaboração submicroscópica permeada dialeticamente por conceitos pertinentes e não pertinentes ao modelo aceito.

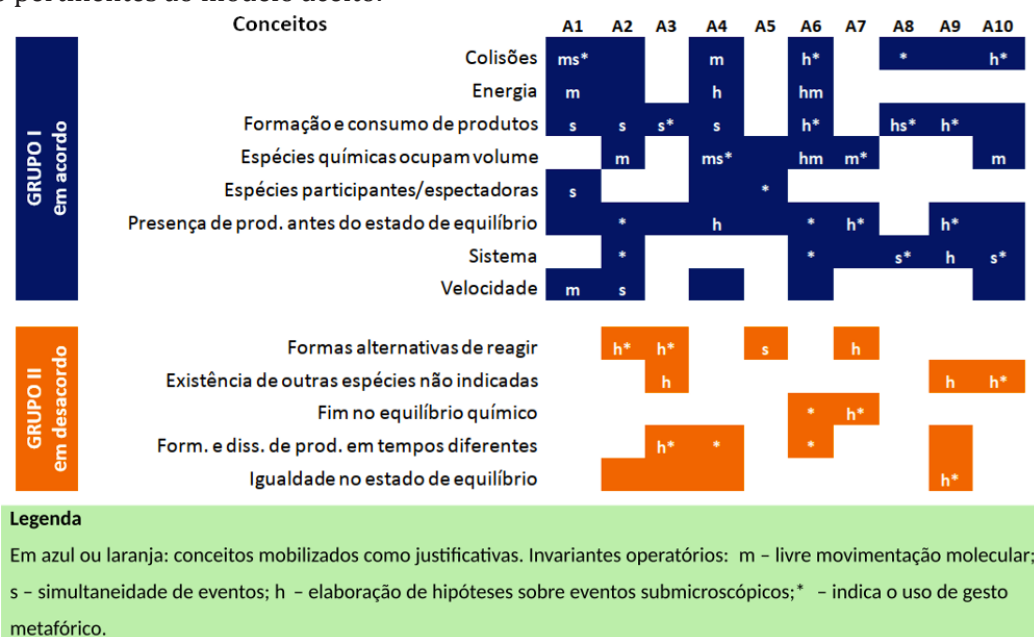


FIGURA 2. Sobreposições temporais de conceitos, invariantes operatórios e alusão gestual metafórica implícita nos esquemas de ação durante a resolução da situação S2 (LOCS).

Em outras palavras, manifestar concepções alternativas não necessariamente estaria relacionado à ausência da elaboração submicroscópica. Além disso, os esquemas de ação em situações de baixa ordem cognitiva para o equilíbrio químico guardam em si um hibridismo entre conceitos aceitos e alternativos. Estes esquemas seriam caracterizados por relações conceituais parcialmente pertinentes onde formas alternativas de reagir ou a existência de espécies que não estariam indicadas na reação, por exemplo, surgiriam preferencialmente formuladas como hipóteses sobre eventos submicroscópicos. Os dados também sugerem que o invariante relativo à simultaneidade de eventos muito embora não seja exclusivo daqueles que não manifestaram conceitos do Grupo II, é um elemento desejável e importante para a resolução de tarefas que versam sobre o equilíbrio químico.

A profusão de conceitos e de invariantes operatórios que caracteriza os esquemas de ação em baixa ordem cognitiva diferiu qualitativamente do encontrado na resolução da situação S1, predominantemente algorítmica. Resultaram em diagramas pobres em conceitos e invariantes operatórios conforme representado na Figura 3 para três alunos. O mesmo perfil foi observado para os demais participantes da pesquisa.



FIGURA 3. Esquemas mobilizados pelos alunos A1, A7 e A8, referente à situação S1 (ALG / LOCS).

Legenda

Enlace a: momento em que os alunos explicavam oralmente enquanto desenvolviam no quadro negro os detalhes algébricos referentes ao cálculo de Kc. Enlace b: Entrevista sobre o significado da constante de equilíbrio.

Considerando que o cálculo da constante de equilíbrio mobiliza predominantemente conceitos relativos às estruturas aditivas e multiplicativas no campo da álgebra esperar-se-ia, de fato, esquemas de ação pobres em conceitos químicos. No entanto, merece destaque os conteúdos conceituais presentes no enlace b - o ato de explicitar os significados químicos relacionados à constante de equilíbrio e ao valor numérico a ela associado, seria a oportunidade para acessar informações sobre o campo estrutural molecular⁵. Contudo, as explicações contemplaram a ideia de formação de reagentes e de produtos ou no máximo a definição cinética da constante de equilíbrio.

Vergnaud (2003) advoga que um mesmo conjunto de conceitos e invariantes operatórios deveria ser mobilizado para situações de uma mesma classe. Muito embora S1 e S2 tratem de uma mesma transformação química, elas versam sobre aspectos conceitualmente distintos e em diferentes demandas cognitivas. Nesta óptica, são esperadas

⁵ Considerações adicionais sobre o campo estrutural molecular podem ser encontradas em Santiago *et al.* (2018).

diferenças qualitativas nos conteúdos dos esquemas de ação algorítmicos em relação aos de baixa ordem cognitiva uma vez que não são percebidas como situações de uma mesma classe. Cenário diferente foi encontrado ao analisar as respostas de alta ordem cognitiva. Na situação de alta ordem cognitiva S3 foi solicitado que os alunos explicassem como o sistema em equilíbrio contendo a mistura gasosa de hidrogênio, nitrogênio e amônia, se comportaria mediante a introdução de um gás inerte, argônio.

Cabe lembrar que a definição de constante de equilíbrio não passa somente pelo argumento cinético, comumente abordado em aulas e livros texto de Química Geral, mas também pela termodinâmica. O argumento cinético tem como base que as velocidades das reações elementares nas ordens direta e inversa tornam-se iguais no momento em que o sistema atinge o equilíbrio químico. Para um sistema $aA \rightarrow bB$ seriam válidas as seguintes relações algébricas:

$$v_d = k_d \cdot [A]^a \cdot [B]^b \text{ e } v_i = k_i \cdot [A]^a \cdot [B]^b; v_d = v_i \quad [1]$$

O argumento termodinâmico tem como base a variação da energia livre de reação, $\Delta_r G$, em função da extensão de reação, ξ , entendida como a quantidade infinitesimal de A que se converte em B e reportada em mol: $d_{nA} = -d\xi$ e $d_{nB} = +d\xi$. Ao atingir o estado de equilíbrio químico, as variações entrópicas seriam nulas, $dS=0$, de modo que $\Delta_r G = 0$ a pressão e temperatura constantes. São decorrências da simultaneidade de eventos submicroscópicos, no caso a formação e clivagem de ligações a uma mesma taxa mantendo o sistema com composição inalterada a partir do momento em que a transformação reversível atinge o estado de equilíbrio. Nestas condições $\Delta_r G$ pode ser descrita como a diferença dos potenciais químicos de reagentes e de produtos segundo as relações (Atkins, 2006):

$$\Delta_r G = (\partial G / \partial \xi)_{p,T} = \mu_B - \mu_A \quad [2]$$

$$\mu_x = \mu_x^o + RT \ln p_x \quad [3]$$

No entanto, o potencial químico de uma determinada espécie gasosa levando em consideração Q coeficiente estequiométrico unitário é dado em função da pressão parcial p_x válida apenas para gases ideais. Ao substituir a expressão [3] em [2] é possível deduzir a relação de onde provém o descritor quociente de reação, Q, definido como a relação das pressões parciais de produtos e reagentes elevadas aos respectivos coeficientes estequiométricos para um sistema reacional a uma determinada extensão de reação:

$$\Delta_r G = \Delta_r G^o + RT \ln p_B^b / p_A^a; Q = p_B^b / p_A^a \quad [4]$$

Ao atingir o equilíbrio, dado que as pressões parciais das espécies A e B não sofrerão variação, o quociente de reação passa a denominar-se K, a constante de equilíbrio. Cabe lembrar que esta expressão de acordo com a termodinâmica assume a forma algébrica difundida nos livros textos via o argumento dos gases ideais.

Trata-se de uma discussão complexa e que inclui sutilezas conceituais pouco abordadas mesmo em livros avançados. Não é possível explicar a influência de um gás inerte sobre a composição de um sistema em equilíbrio sem considerar hipóteses sobre o mesmo. Uma abordagem consiste em conceber as espécies da mistura gasosa como ideais e a adição do gás inerte efetuada a pressão e temperatura constantes. Nestas condições, livre de interações intermoleculares a introdução do argônio, por exemplo, não alteraria as pressões parciais dos gases envolvidos na síntese da amônia e, por conseguinte, não alteraria a composição do sistema. Alternativamente, outra abordagem consiste em considerar as espécies da mistura gasosa como não ideais. Nesta direção, caso a pressão parcial do gás real introduzido seja elevada, as interações intermoleculares e o tamanho das espécies deveriam ser considerados. Como decorrência, o sistema seria tratado via

cálculos em termos das fugacidades das espécies envolvidas em detrimento da Lei de Le Chatelier (Fonseca, 2006; Wisniak, 1999). No escopo deste artigo, foi considerado como pertinente o desfecho via a abordagem dos gases ideais. Porém, era esperado que os alunos traçassem hipóteses sobre a validade de suas respostas e que soubessem explicar o comportamento do sistema em termos submicroscópicos balizados em preceitos do campo estrutural molecular tal como efetuaram para as situações de baixa ordem cognitiva.

Os seis alunos que responderam à situação de alta ordem cognitiva, S3, produziram explicações qualitativamente diferentes daquelas que foram elaboradas diante do comportamento submicroscópico de um sistema conhecido, sobretudo no que tange o uso de conceitos e invariantes operatórios, conforme é mostrado nos diagramas produzidos a partir das explicações de dois representantes deste grupo (Figura 4).



FIGURA 4. Esquemas mobilizados pelos A1 e A8 referente à situação S3 (HOCS).

Os alunos A1 e A8 produziram justificativas conceitualmente pobres focalizando a não reatividade do argônio sem supor o modelo dos gases ideais e, por conseguinte, a ausência de interações intermoleculares. O efeito desestabilizador da interação com uma situação de alta ordem cognitiva também se fez presente: as hesitações ao tentar elaborar uma explicação pouco usual nos cursos de química geral predominaram nos turnos de falas.

O confronto dos esquemas de baixa e de alta ordem indica que diversos conceitos e invariantes operatórios instrumentais alternativos ou não, para conceber a dinâmica das espécies em um sistema em equilíbrio químico (e antes de atingir este estado também) em situações de baixa ordem cognitiva S2 (LOCS), não estiveram presentes na situação de alta ordem cognitiva S3 (HOCS), muito embora versem sobre um mesmo campo de conceitos (Figura 5). Tal fato suscita questionamentos sobre os porquês das diferenças qualitativas dos esquemas de ação quando é introduzido um fator não convencional, no caso a influência de um gás inerte sobre a composição do sistema em equilíbrio. Um possível caminho seria admitir que embora fossem situações de uma mesma classe para o proponente, pesquisador ou professor, tal *não seria percebida* como tal por aquele que responde. Nesta direção, a teoria colisional seria instrumental apenas para a resolução de questões não muito distantes daquelas comumente tratadas em sala de aula e presentes nos textos sobre o equilíbrio químico.

Outra possibilidade residiria no fato que para explicar a influência de um gás inerte sobre o equilíbrio químico seria necessário não somente o uso de conceitos no campo estrutural molecular, mas também no campo da termodinâmica.

Neste caso, a tarefa de alta ordem cognitiva proposta para este estudo seria caracterizada pela necessidade de um esquema de ação híbrido entre estes campos o que permitiria aos alunos aludirem à necessidade de desconsiderar as interações

intermoleculares (no caso da instrução de gases ideais) e à conservação das pressões parciais dos componentes do sistema a pressão e temperatura constante.

Conceitos		A1	A2	A6	A7	A8	A10
GRUPO I em acordo	Colisões	m(s*)		(h)*		(*)	mh*
	Energia	m		(hm)			
	Formação e consumo de produtos	(s)	(s)	(h*)		(hs*)	
	Espécies químicas ocupam volume	m	(m)	(hm)	(m*)		m
	Espécies participantes/espectadoras	(s)					
	Presença de prod. antes do estado de equilíbrio		(*)	(*)	(h*)		
	Sistema		*	(*)		s(*)	h(s*)
	Velocidade	(m)	(s)				
GRUPO II em desacordo	Formas alternativas de reagir		h*		(h)		
	Existência de outras espécies não indicadas						(h*)
	Fim no equilíbrio químico			(*)	(h*)		
	Form. e diss. de prod. em tempos diferentes			(*)			
Igualdade no estado de equilíbrio							

Legenda
 Preto: indica o uso do conceito como justificativa em situações de HOCS e LOCS.
 Cinza: conceitos utilizados na situação de LOCS mas ausentes em HOCS.
 Amarelo: conceitos utilizados em situações de HOCS mas ausentes em LOCS.
 m - livre movimentação molecular; s - simultaneidade de eventos;
 h - elaboração de hipóteses sobre eventos submicroscópicos; * - indica o uso de gesto metafórico;
 () - entre parênteses, invariantes operatórios e gestos utilizados na situação de LOCS mas ausente em HOCS.

FIGURA 5. Comparativo entre esquemas de ação de alta e baixa ordem cognitiva.

Considerações finais

Os dados demonstram que estudantes universitários que já haviam cursado uma disciplina introdutória de química geral, mobilizaram esquemas de ação híbridos caracterizados por conceitos alternativos e conceitos coerentes ao modelo vigente para o estado de equilíbrio químico em função da demanda cognitiva. Apesar dos conceitos alternativos serem profundamente enraizados e resistentes aos esforços pedagógicos, chama atenção o papel dos invariantes operatórios como moduladores dos esquemas de ação quando olhados pelo recorte das habilidades cognitivas: estudantes que mobilizaram invariantes operatórios adequados para resolver uma situação de baixa ordem cognitiva, não os utilizaram quando postos diante de um desafio de alta ordem cognitiva. Do ponto de vista educacional, recomenda-se cautela ao planejar a avaliação da aprendizagem. Conceitos e invariantes operatórios manifestados durante a ação são sensíveis à demanda cognitiva e não devem ser utilizados como indicadores absolutos da aprendizagem. Quanto ao equilíbrio químico, o desenvolvimento neste campo tendo em vista o avanço quantitativo e, principalmente, qualitativo das relações de pertinência entre conceitos e operações do pensamento pode requerer a integração progressiva entre o campo estrutural e da termodinâmica nas narrativas em sala de aula aliadas a construção da representação submicroscópica. Nesta direção, valorizar situações de diferentes níveis de cognição e que deem espaço para que os estudantes exponham seus modelos explicativos podem constituir estratégias de ensino interessantes ao ensino deste tópico.

Agradecimentos

Aos estudantes que participaram da presente investigação bem como ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP.

Referências

- Atkins, P.W. (2006). *Physical Chemistry*. New York, USA: Oxford University Press.
- Barke, H-D., Hazari, A. & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry: Addressing perceptions in chemical education*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Bergquist, W. & Heikkinen, H. (1990). Student ideas regarding chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67(12), 1000-1003.
- Bronckart, J.-P. (2007). De l'activité collective à l'action et à la pensée individuelles, In: Merri, M. (editor). *Activité humaine et conceptualisation - Questions à Gérard Vergnaud*, (pp.121-141), Toulouse: Presses Universitaires Du Mirail.
- Fonseca, S.C.M. (2006). *Influência de gases inertes no equilíbrio químico: nuances e simulações computacionais*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências, Universidade do Porto.
- Gabel, D., Sherwood, R. & Enochs, L. (1984). Problem-solving skills of high-school chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 221-233. <https://doi.org/10.1002/tea.3660210212>.
- Galiazzi, M.C. & Moraes, R. (2006). Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. *Ciência & Educação*, 12(1), 117-128. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132006000100009>.
- Machado, A.H. & Aragão, R.M.R. (1996). Como os estudantes concebem o estado de equilíbrio químico. *Química Nova na Escola*, 4, 18-20. <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc04/aluno.pdf>.
- Marcondes, M.E.R & Suart, R.C. (2008). As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em uma atividade experimental investigativa. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 8, 2. <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4022>.
- McNeill, D. (1992). *Hand and mind: what gestures reveal about thought*. Chicago: University of Chicago Press. <https://doi.org/10.2307/1576015>.
- Moreira, M.A. (2002). A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7, 7-29. <https://bit.ly/34uTdGk>.
- Quílez-Pardo, J. & Solaz-Portolés, J.J. (1995). Students' and teachers' misapplication of Le Chatelier's principle: Implications for teaching of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(9), 939-957. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1002/tea.3660320906>.

- Raviolo, A. & Aznar, M.M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de estudiantes em relación com elequilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. *Educación Química*, 14(3), 60-66. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2003.3.66244>.
- Santiago, R.M., Cunha, R.L.O.R., Nascimento, M. G. & Bueno Filho, M.A. (2018). Construcción de Relaciones entre Conceptos Relativos al Campo Estructural y al Campo da Cinética Química por Estudiantes de Pregrado en la Aceptión de la Teoría de los Campos Conceptuales. *Educación Química*, 29(3), 48-60. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63720>.
- Vergnaud, G. (2009). The Theory of Conceptual Fields. *Human Development*, 52(2), 83-94. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1159/000202727>.
- Vergnaud, G. (2003). Qu'est-ce que la pensée? Les compétences complexes dans l'éducation et le travail. *Actes du colloque de Suresnes*. Suresnes: CD-ROM, 2003. <http://dx.doi.org/10.3917/nras.063.0277>.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie dès champs conceptuels. *Reserches em Didactique des Mathématiques*, 23, 133-170.
- Wisniak, J. (1999). Le Châtelier Principle: how much a principle? *The Chemical Educator*, 4, 58-62. <https://doi.org/10.1007/s00897990292a>.
- Zoller, U., Dori, Y., & Lubezky, A. (2002). Algorithmic and LOCS and HOCS (Chemistry) Exam Questions: Performance and Attitudes of College Students. *International Journal of Science Education*. 24(2), 185-203. <https://doi.org/10.1080/09500690110049060>.
- Zoller, U., Lubezky, A., Nakhleh, M. B., Tessier, B. & Dori, Y.J., (1995) Success on Algorithmic and LOCS vs. Conceptual Chemistry Exam Questions. *Journal of Chemical Education*. 72(11), 987-989.