UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

MAURÍCIO BRUNO DA SILVA COSTA

O Perfil Conceitual de Equilíbrio e suas contribuições para o ensino de Equilíbrio Químico

JEQUIÉ – BA

ABRIL / 2019

MAURÍCIO BRUNO DA SILVA COSTA

O Perfil Conceitual de Equilíbrio e suas contribuições para o ensino de Equilíbrio Químico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Química.

Área de concentração: Educação em Química

Orientador: Bruno Ferreira dos Santos

JEQUIÉ – BA

ABRIL / 2019

C837p Costa, Maurício Bruno da Silva.
O perfil conceitual de equilíbrio e suas contribuições para o ensino de equilíbrio químico / Maurício Bruno da Silva Costa.- Jequié, 2019.
43f.

(Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, sob orientação do Prof. Dr. Bruno Ferreira dos Santos)

1.Perfil conceitual 2.Equilíbrio químico 3.Ensino de química I.Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia II.Título

CDD – 371

Rafaella Câncio Portela de Sousa - CRB 5/1710. Bibliotecária – UESB - Jequié

Maurício Bruno da Silva Costa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Química.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM **06/05/2019.**

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Bruno Ferreira dos Santos
(UVQ, Quilmes – Buenos Aires - Argentina, 2010)
(Orientador)

Prof. Dr. Báraquízio Braga
(UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2008)

Prof. Drª. Edenia Maria Ribeiro do Amaral
(UFMG, Belo Horizonte - MG, 2004)

Prof. Dr. José Luis Silva
(UFBA, Salvador – BA, 2004)

Aos meus pais, Dogival e Iêda (in memoriam), que sempre priorizaram os meus estudos. Ao meu irmão, Murillo, pelos momentos de distração. À minha namorada, Jamille, por estar sempre ao meu lado. Aos meus amigos e familiares, por tudo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Bruno Ferreira dos Santos, pela paciência e ensinamentos que carregarei para toda a vida.

Aos que contribuíram direta e indiretamente com minha pesquisa e formação, pelo tempo e disposição.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

Ama-se mais o que se conquista com esforço.

Benjamin Disraeli

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HPS: História e Filosofia da Ciência, do inglês History and Philosophy of Science.

O Perfil Conceitual de Equilíbrio e suas contribuições para o ensino de Equilíbrio Químico

Autor: Maurício Bruno da Silva Costa
Orientador: Bruno Ferreira dos Santos

Este trabalho teve como objetivo a proposição de um perfil conceitual para o conceito de equilíbrio e, com base neste perfil, relacioná-lo com o ensino e a aprendizagem de equilíbrio químico. Para tal, estudamos três domínios genéticos idealizados por Vygotsky (i.e. sociocultural, ontogenético e microgenético) e quatro zonas foram propostas para compor o perfil, chamadas de intuitiva, estática, cinética e energética. Para o domínio microgenético, aplicamos um questionário com estudantes concluintes da graduação, egressos e mestrandos. Posteriormente, analisamos as respostas obtidas por meio de questionário, possibilitando o agrupamento dos modos de falar semelhantes em categorias que foram relacionadas com o conceito de equilíbrio e com as zonas do perfil conceitual. Encontramos algumas concepções alternativas discutidas na literatura nas respostas para o questionário. Baseado nos resultados, as zonas propostas para o perfil conceitual de equilíbrio apontam que estabelecer associações entre o estado de equilíbrio químico e a noção de igualdade pode provocar erros conceituais, e por isso deve-se dar prioridade à noção de estabilidade. Propomos também a utilização dos estudos publicados na literatura referentes à História e Filosofia das Ciências aplicados no ensino de equilíbrio químico para estimular a emergência, diálogo e enriquecimento entre as zonas do perfil conceitual nos indivíduos.

Palavras-Chave: Perfil Conceitual, Equilíbrio Químico, Ensino de Química.

The Conceptual Profile of equilibrium and its contributions to the teaching of Chemical Equilibrium

Author: Maurício Bruno da Silva Costa
Advisor: Bruno Ferreira dos Santos

This work aimed to propose a conceptual profile for the concept of equilibrium and, based on this profile, relate it to the teaching and learning of chemical equilibrium. For this, we study three genetic domains idealized by Vigotski (i.e. sociocultural, ontogenetic and microgenetic) and four zones were proposed to compose the profile, called intuitive, static, kinetic and energetic. For the microgenetic domain, we applied a questionnaire with undergraduate students, graduates and masters. Subsequently, we analyzed the responses, enabling the grouping of modes of speaking in categories that were related with the concept of equilibrium and with the conceptual profile's zones. We found some alternative conceptions discussed in the answers to the questionnaire. Based in the results, the proposed zones for the conceptual profile of equilibrium point out that establishing associations between the state of chemical equilibrium and the notion of equality can lead to conceptual errors, and therefore, one should give priority to the notion of stability. We also propose to use studies published in literature referring to the History and Philosophy of Sciences (HPS) applied in the teaching of chemical equilibrium to stimulate the emergence, dialogue and enrichment between the areas of the conceptual profile in individuals.

Keywords: Conceptual Profile, Chemical Equilibrium, Chemistry Teaching.

SUMÁRIO

1. Introdução 01

2. Perfil Conceitual: aspectos teóricos 04

3. Metodologia 08

4. A proposta do Perfil Conceitual para o conceito de Equilíbrio 10

4.1 Zona Intuitiva 11

4.2 Zona Estática 12

4.3 Zona Cinética 16

4.4 Zona Energética 18

5. Relações entre o Perfil Conceitual de equilíbrio e o Equilíbrio Químico.....19

6. Conclusão.....26

7. Referências.....28

8. Apêndices 33

8.1 Apêndice A.....33

Please do not adjust margins

ARTICLE

O Perfil Conceitual de Equilíbrio e suas contribuições para o ensino de Equilíbrio Químico

Received 00th January 20xx,
Accepted 00th January 20xx

DOI: 10.1039/x0xx00000x

Maurício Bruno da Silva Costa*[a] e Bruno Ferreira dos Santos[b]

Resumo: Este trabalho teve como objetivo a construção de um perfil conceitual para o conceito de equilíbrio e, com base neste perfil, relacioná-lo com o ensino e a aprendizagem de equilíbrio químico. Para tal, estudamos três domínios genéticos idealizados por Vygotsky (i.e. sociocultural, ontogenético e microgenético) e quatro zonas foram propostas para compor o perfil, chamadas de intuitiva, estática, cinética e energética. Para o domínio microgenético, aplicamos um questionário com estudantes concluintes da graduação, egressos e mestrandos em Química. Posteriormente, analisamos as respostas obtidas de modo a agrupar os modos de falar semelhantes em categorias que foram relacionadas com o conceito de equilíbrio e com as zonas propostas para o perfil conceitual. Encontramos algumas concepções alternativas já identificadas pela literatura nas respostas para o questionário. Baseado nos resultados, as zonas propostas para o perfil conceitual de equilíbrio indicam que estabelecer associações entre o estado de equilíbrio químico e a noção de igualdade pode conduzir a erros conceituais, e por isso sugere-se dar prioridade à noção de estabilidade. Propomos também a utilização dos estudos sobre a História e Filosofia das Ciências aplicados ao ensino de equilíbrio químico para estimular a emergência, o diálogo e o enriquecimento entre as zonas do perfil conceitual nos indivíduos.

Introdução

O conceito de equilíbrio é um dos mais abrangentes que o ser humano faz uso em seu cotidiano, mesmo que de forma inconsciente. Uma breve reflexão sobre a variedade de situações e utilizações possíveis do conceito torna evidente a riqueza de sua aplicação em diversas áreas do conhecimento, especialmente quando considerados nessa reflexão os benefícios que seu estudo proporciona à sociedade.

Como exemplos, destacamos o equilíbrio químico presente nas seguintes reações, que se destacam pela sua importância econômica: 1. Produção de amônia (processo de Haber-Bosch); 2. Produção de ácido nítrico (processo de Ostwald); 3. A dissolução de metais preciosos, e.g ouro e platina, utilizando-se água régia.

Ao centralizar nossa discussão no ensino de Ciências, e especificamente no ensino de Química, um dos motivos que fazem o conceito de equilíbrio na Química ser entendido como problemático é, segundo Silva e Amaral (2017), a presença de uma

[a.] *Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Química, Jequié, Bahia, Brasil. E-mail: mbruno5@hotmail.com*
[b.] *Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Ciências Tecnológicas, Jequié, Bahia, Brasil. E-mail: bf-santos@uol.com.br*

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

significativa hierarquia conceitual em torno de sua compreensão, pois ele se relaciona com outros conceitos como reação química, reversibilidade, entropia e energia livre. A capacidade de relacionar esses conceitos com o equilíbrio é requerida para o entendimento de reações químicas fundamentais, como as observadas em processos biológicos e industriais (Silva e Amaral, 2017). Yan e Talanquer (2015) ressaltam que compreender esses conceitos e teorias pode ainda não ser suficiente, pois os estudantes precisam aprender a integra-los e saber aplicá-los apropriadamente em diversos contextos e situações.

Silva e Amaral (2017) também afirmam que, devido à complexidade do conceito e ao grau de dificuldade observado em parte dos alunos e até mesmo em alguns professores, o ensino de equilíbrio na Química tem sido objeto de atenção na pesquisa em educação química. Com isso, encontram-se na literatura várias pesquisas tratando das dificuldades enfrentadas no processo de ensino-aprendizagem do conceito de equilíbrio químico, considerado como problemático (Machado e Aragão, 1996; Tyson *et al.*, 1999; Locaylocay *et al.*, 2005; Meneses, 2007; Carobin e Serrano, 2007). Locaylocay *et al.* (2005) afirmam que os problemas costumam aparecer quando os estudantes são apresentados à natureza dinâmica e reversível do equilíbrio químico, ao Princípio de Le Chatelier e a constante de equilíbrio.

Vários obstáculos foram associados à aprendizagem sobre equilíbrio químico. Um deles é a ausência de contextualização em seu ensino, o que pode tornar o conteúdo desinteressante para quem está aprendendo (Vasconcelos *et al.*, 2016). O uso de analogias inadequadas na tentativa de otimizar a aprendizagem dos alunos também foi reconhecido como origem de dificuldades por Raviolo e Garritz (2007). A ênfase no tratamento matemático para a resolução de problemas envolvendo equilíbrio químico em detrimento do aprofundamento dos aspectos conceituais constitui outra dificuldade para a aprendizagem deste conceito (Junior e Silva, 2009).

A pesquisa sobre a aprendizagem dos conceitos científicos foi inicialmente referenciada pelo modelo de *mudança conceitual* (Posner *et al.*,1982). Este modelo foi amplamente utilizado pela comunidade científica e norteou a proposição de estratégias didáticas para o ensino das Ciências nas duas últimas décadas do século passado. Como ponto principal, seus autores defendem que os alunos devem abandonar os modos de pensar sobre um conceito que estão intimamente relacionados com o cotidiano, ou seja, os modos de pensar não científicos, pois estes são considerados como

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

obstáculos na aprendizagem de acordo com o modelo.

Com o passar do tempo, entretanto, foi notada uma limitação na aplicação da teoria sobre mudança conceitual nas práticas de ensino, pois verificou-se que os estudantes tinham dificuldade em renunciar a suas concepções informais, que persistiam mesmo após vários anos de escolaridade. Na Química, o estudo das concepções alternativas para o conceito de equilíbrio nos forneceu vários entendimentos errôneos em sua aprendizagem, e minimizá-los eficientemente deveria ser um objetivo de um professor, mesmo que este não intencione trabalhar uma estratégia didática específica.

Levando isso em consideração, Mortimer (1995) propôs a teoria do *perfil conceitual*, na qual existe a intenção de se promover a valorização dos modos alternativos de pensamento, inclusive aqueles relacionados ao cotidiano, tendo em vista os significados e usos que esses modos ganham em contextos diversos.

El-Hani *et al.* (2014) definem três objetivos principais para a teoria do perfil conceitual: 1) determinar as zonas que constituem os perfis conceituais para uma quantidade de conceitos que são polissêmicos e possuem um papel central para a educação científica; 2) investigar como essas zonas aparecem em diferentes pessoas, como uma maneira de caracterizar os perfis conceituais individuais; 3) investigar as relações entre os diferentes modos de pensar e as maneiras de falar em salas de aula. Partindo desses objetivos, busca-se construir uma teoria sobre o ensino e a aprendizagem que permita intervir na dinâmica da sala de aula de forma embasada e, para isso, segundo El-Hani *et al.* (2014) deve-se primeiro modelar a heterogeneidade da fala e do pensamento.

Embora a tendência atual para o desenvolvimento dos currículos das Ciências no Brasil esteja mais voltada para temáticas e contextos e não para uma organização conceitual, o ensino de conceitos científicos ainda constitui um dos objetivos de qualquer proposta curricular para a educação científica, e se encontra no núcleo da natureza problemática do ensino e da aprendizagem das Ciências (Mortimer e El-Hani, 2014). A potencialidade da pesquisa sobre perfis conceituais se constitui na construção de uma visão mais sistemática e organizada da heterogeneidade existente, de modo que a polissemia não degenere em pura ambiguidade e confusão conceitual (El-Hani *et al.*, 2014).

Considerando que ainda não existe na literatura um perfil conceitual para equilíbrio, e que sua construção pode auxiliar a proposição de estratégias didáticas para o ensino de equilíbrio químico que considerem os diferentes modos de pensar e de falar a respeito deste conceito, objetivamos com esse

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

trabalho: 1. Construir um perfil conceitual para o conceito de equilíbrio e; 2. Estabelecer relações das zonas propostas para o perfil de equilíbrio com o ensino de equilíbrio químico.

Perfil Conceitual: aspectos teóricos

Apresentada inicialmente por Mortimer (1995), a teoria do perfil conceitual teve como uma de suas bases a noção de *perfil epistemológico* proposto por Bachelard (1936/1978). A ideia central desta noção é que em qualquer indivíduo os conceitos estão dispersos em diferentes visões filosóficas, e dependem do estágio de desenvolvimento do próprio indivíduo em relação ao pluralismo de sua cultura e da filosofia (Mortimer e El-Hani, 2014). Existem semelhanças entre os dois tipos de perfis mencionados, já que os diferentes modos de pensar um conceito constituem diferentes zonas para o perfil de um indivíduo, além da ideia de que as zonas se tornam mais complexas à medida que se aprofunda o teor científico dos modos de pensar. A teoria do Perfil Conceitual, entretanto, se afasta das ideias de Bachelard, uma vez que ela propõe que os perfis sejam integrados em uma estrutura que considera a aprendizagem dos conceitos como o resultado da aprendizagem da linguagem social científica escolar por meio de interações discursivas em sala de aula (Mortimer e El-Hani, 2014).

Segundo Mortimer e El-Hani (2014), a teoria do perfil conceitual incorporou duas noções de heterogeneidade distintas. Uma dessas noções está baseada em Wertsch (1991), quem propôs que diferentes formas de pensar podem ser classificadas de acordo com sua gênese, mas os modos de pensar adquiridos mais recentemente não são considerados como mais importantes quando comparados aos anteriores, portanto a heterogeneidade existe apesar da hierarquia genética. A segunda noção de heterogeneidade foi proposta por Tulviste (1991), com a qual considera-se que uma palavra pode ser polissêmica em qualquer cultura e em qualquer indivíduo, tanto na linguagem científica quanto na linguagem cotidiana. A construção de um perfil conceitual é importante por possibilitar uma visão mais ampla do conceito e das formas diferentes de entendimento por parte dos indivíduos.

Outra ideia incorporada pela teoria do perfil conceitual envolve a distinção entre sentido e significado proposta por Vygotsky (1934/1987), para quem o sentido de uma palavra é o agregado de todos os fatos psicológicos que emergem de nossa consciência como reação a essa palavra, o qual pode ser dinâmico e variar entre diferentes contextos. Se uma criança tem apenas um sentido para uma palavra, este sentido poderá não coincidir com o mesmo sentido apresentado por um adulto. Ao

 This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

contrário do sentido, o significado é estável e se mantém mesmo considerando todas as formas de sentido que estão associados a ele em diferentes contextos. Os modos de pensar devem ser tratados como elementos de permanência no pensamento conceitual dos indivíduos (Mortimet *et al.*, 2011), e isso equivale a dizer que eles têm uma estrutura bem definida por serem limitados e convergirem nas interações sociais.

Essa noção de pensamento conceitual é uma das funções mentais superiores de acordo com Vygotsky (1978), e é entendida como um processo emergente produzido pela interação entre o indivíduo e algum evento ou experiência externa e, neste sentido, este processo é sempre motivado socialmente. A estabilidade de um significado para um conceito é adquirida por meio de um processo recorrente, isto é, quando nos deparamos com alguma situação que já experienciamos anteriormente, o mesmo pensamento conceitual já desenvolvido/adquirido tende a emergir novamente. Existe então um processo de internalização/externalização dos sentidos atribuídos direcionado ao interior do sistema cognitivo em uma relação de desenvolvimento. Graças ao caráter dialético desse processo, considera-se que os modos de pensar e os modos de falar de um indivíduo podem ser concebidos da mesma forma que eles o são nas linguagens sociais: inerentemente inter-relacionados (Mortimer e El-Hani, 2014). Por este motivo, assume-se na teoria do perfil conceitual que, para fins de análise, eles são equivalentes.

As noções Bahktinianas de gêneros de discurso e linguagens sociais podem nos ajudar a relacionar as diferentes zonas de um perfil conceitual com as diferentes formas de falar. Assim, enquanto uma linguagem social está relacionada com um ponto de vista específico, determinado por uma posição profissional ou pessoal, o gênero de discurso está relacionado com o lugar social ou institucional onde o discurso é produzido (Mortimer e El-Hani, 2014).

Por estar relacionado a certos tipos de experiências vividos por um indivíduo, o caráter pragmático foi considerado na proposição da teoria do perfil conceitual. James (1907) afirmou que o desenvolvimento de novos modos de pensar decorre de novas formas de atividade, mas como formas anteriores de atividade continuam a desempenhar algum papel na cultura, os modos de pensar mais antigos são preservados e continuam a funcionar em contextos apropriados (El-Hani *et al.*, 2014). Baseado nisso, há um consenso sobre a existência de dois ou mais sentidos para uma mesma palavra, e essa coexistência é possível mesmo para os conceitos científicos, nos quais a dissonância entre as visões clássica e moderna para um mesmo

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

fenômeno podem existir (Mortimer e El-Hani, 2014).

Mortimer e El-Hani (2014) defendem que, durante a aprendizagem conceitual, dois processos estão relacionados: 1) o enriquecimento de um perfil conceitual de um indivíduo, que significa aumentar o peso de cada uma de suas zonas (considerado como um *processo cognitivo*); e 2) tornar o indivíduo consciente da multiplicidade de modos de pensar que constituem o perfil, bem como os contextos em que eles podem ser aplicados de acordo com seu valor pragmático (considerado um *processo metacognitivo*). No ensino escolar, o primeiro processo geralmente envolve a aprendizagem de modos de pensar relacionados com a ciência, para os quais os alunos geralmente não têm acesso por outros meios. No segundo processo, é necessário propiciar aos estudantes uma visão clara sobre como os modos de pensar podem ser diferenciados entre si e, mais que isso, sobre quais modos de pensar e de falar são apropriados para quais contextos. É esperado, então, que o indivíduo consiga acessar o sentido apropriado para o contexto no qual ele se encontra.

A teoria sociocultural de Vygotsky (1934/1987) assume que os conceitos e categorias disponíveis socialmente são entendidos de forma similar pelos indivíduos que compartilham a mesma cultura, de forma que esse entendimento comum permita a comunicação efetiva entre eles (Mortimer e El-Hani, 2014). Baseando-se nessas premissas, de acordo com a teoria do perfil conceitual cada indivíduo tem seu próprio perfil para um determinado conceito, e cada perfil está constituído por vários modos de pensar os quais chamamos de *zonas*. Cada uma das zonas corresponde também a um modo particular de falar sobre esse conceito, e tem sua estrutura limitada pelas interações socioculturais. A variação entre os perfis individuais se dá no peso de cada zona, o qual por sua vez dependerá da extensão pela qual se dá a oportunidade de usá-la proveitosamente no decorrer do desenvolvimento para enfrentar as dificuldades apresentadas por nossas experiências.

Para nortear a escolha dos perfis a serem construídos, Mortimer e El-Hani (2014) propuseram alguns critérios que devem ser respeitados: 1) devem ser centrais para a ciência; 2) devem ser polissêmicos o suficiente para que valha a pena construir seu perfil; e 3) devem estar presentes tanto na linguagem científica quanto na linguagem cotidiana. Consideramos que o conceito de equilíbrio preenche todos esses requisitos. Uma vez obedecidos esses critérios, três domínios genéticos devem ser estudados, a saber: o domínio *sociocultural*, o *ontogenético* e o *microgenético* (El-Hani *et al.*, 2014).

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

Mortimer e El-Hani (2014) aconselham o uso dialógico de uma variedade de fontes, que busque a interação entre os domínios ao invés de limitar o processo sob a influência de uma única fonte de informação em detrimento de outras. Segundo estes autores, é a articulação entre os domínios que enriquece essa metodologia. As sugestões que serão abordadas sobre os domínios abaixo seguirão, no geral, as orientações encontradas em Mortimer e El-Hani (2014), exceto quando explicitado.

Na construção do *domínio sociocultural* são pesquisadas fontes secundárias sobre a história da ciência e também análises epistemológicas do conceito em questão. Essas análises são particularmente úteis para entender a atribuição dos significados nesse domínio e para o estabelecimento de compromissos ontológicos e epistemológicos que guiarão o processo de significação de um conceito. A história sociocultural do conceito irá evidenciar quais foram as mudanças ocorridas nos modos de pensar sobre ele através da história da humanidade, além do impacto causado por essas mudanças.

Para o *domínio ontogenético*, um dos principais instrumentos para sua construção é o estudo das concepções alternativas sobre o conceito escolhido. Pesquisa-se como o conceito é aprendido e como ele evolui na história de cada sujeito, e pode ser representativo dos processos de construção do conhecimento na vida cotidiana. Deve-se considerar a possibilidade de encontrarmos essas concepções alternativas discutidas na literatura nos dados empíricos levantados para a proposição do domínio microgenético, que abrange dois domínios genéticos simultaneamente, e que pode revelar outras concepções além daquelas já previamente identificadas.

Por fim, o *domínio microgenético* consiste na obtenção de dados coletados por meio de entrevistas, questionários e gravações de interações discursivas em uma variedade de contextos, principalmente os educacionais, e que dão acesso aos domínios ontogenético e microgenético. Este último está ligado ao micro processo ou micro gênese que ocorre em situações de interação e que envolvem a expressão de ideias, geralmente em um curto espaço de tempo e em circunstâncias específicas. Para analisar esses dados, alguns pesquisadores sobre perfil conceitual categorizaram as respostas antes da proposição das zonas, facilitando a constituição do perfil (Coutinho, 2005; Silva e Amaral, 2013). Mortimer *et al.* (2011) destacam a necessidade de explorar mais profundamente as afirmações dos sujeitos, de modo a interpretá-las em termos de um repertório de compromissos ontológicos e epistemológicos elaborados como hipóteses, e que são constantemente reformulados pelo investigador, à luz de suas fontes de dados.

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

Metodologia

Segundo Mortimer e El-Hani (2014), existem duas maneiras de se traçar um perfil. A primeira delas se inicia com a análise dos dados obtidos na construção do domínio microgenético, realizada de maneira parcialmente indutiva, e as categorias são construídas sem levar em consideração os outros dois domínios, isto é, sem influência da literatura sobre o desenvolvimento histórico do conceito e de sua epistemologia, bem como do estudo das concepções alternativas. O risco, entretanto, é realizar uma categorização muito pobre dos dados empíricos, o que aumenta a dificuldade de inter-relacionar estes dados com aqueles provenientes de outras fontes. Além disso, a análise não se interrompe nesse estágio, já que as categorias propostas provavelmente ainda não corresponderão às zonas do perfil conceitual pretendido. Como os domínios são identificados por compromissos ontológicos e epistemológicos, os quais não costumam ser encontrados na superfície do discurso, um segundo estágio é necessário e envolverá a construção dos outros dois domínios para enriquecer os dados obtidos com a construção do domínio microgenético.

O segundo tipo de estratégia utilizado para construir o perfil conceitual começa pela análise histórica/filosófica e pelas concepções alternativas como método para eleger as categorias. Feito isso, os dados empíricos oriundos de entrevistas e questionários devem ser analisados e categorizados levando em consideração essa estrutura pré-disposta. Desta forma, o risco é o de produzir uma categorização muito rica com os dois primeiros domínios e acabar obtendo dados empíricos qualitativamente insuficientes para alcançar esse nível elevado de compreensão. Outro risco destacado na teoria do perfil conceitual é o da possibilidade de haver uma excessiva parcialidade na interpretação dos dados. Com isso em mente, optamos por traçar o perfil conceitual de equilíbrio utilizando esta segunda estratégia, respeitando, é claro, os riscos e buscando minimizá-los.

Para a construção do perfil conceitual para o conceito de equilíbrio, utilizamos os métodos propostos por Mortimer e El-Hani (2014). Os dados para o estudo dos três domínios conceituais, e.g., sociocultural, ontogenético e microgenético foram coletados em suas respectivas fontes e, após análise de todo o material coletado, foi possível identificar os compromissos ontológicos e epistemológicos para a constituição das zonas do perfil. O intuito não é, porém, apenas o de estabelecer paralelismos entre os modos de pensar encontrados nos domínios, e sim o de investigar a variedade de pensamentos atribuídos ao conceito (El-Hani *et al.*, 2014). Durante o decorrer da pesquisa, utilizamos o *software* Atlas.ti, que tornou possível a

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

organização da grande quantidade de dados posteriormente transformados em códigos e categorias, e que serão apresentadas e discutidas na próxima seção deste artigo.

Primeiramente, para a construção do domínio sociocultural foi feito um levantamento da evolução histórica dos conceitos de equilíbrio e equilíbrio químico e dos diferentes modos de pensar/falar sobre eles. No entanto, devido à grande abrangência de aplicações deste conceito nos mais diversos campos de estudo, fez-se necessário limitar o domínio baseando-se em noções de equilíbrio apenas inseridas no contexto científico das Ciências da Natureza. Logo, por se tratar de um conceito que não é utilizado apenas em uma área do conhecimento, além de que seu emprego sempre está vinculado a alguma dessas áreas (e.g. equilíbrio químico), fez-se necessário buscar a semântica do conceito de equilíbrio em dicionários.

Para facilitar a localização dos significados encontrados, representaremos cada um deles por uma letra de referência. Da língua portuguesa foram escolhidos: Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa (A); Grande dicionário Houaiss da Língua Portuguesa (H); e o Michaelis Dicionário Escolar da Língua Portuguesa (M). Da língua inglesa foram escolhidos mais três: Cambridge English Dictionary (C); Oxford Dictionary (O) e Merriam-Webster (W). Paralelamente, investigou-se a história do conceito de equilíbrio químico e sua epistemologia para relacioná-las posteriormente com o perfil proposto para o conceito de equilíbrio.

Não foi possível obter resultados satisfatórios para a construção do domínio ontogenético por meio do levantamento de concepções alternativas ou informais dentro das Ciências da Natureza para o conceito de equilíbrio, já que este é utilizado academicamente apenas de forma aplicada em algum ramo das Ciências, mas não de forma genérica. Destacamos, entretanto, que ao estudar o perfil conceitual de equilíbrio aplicado a alguma área, deve-se considerar o estudo das concepções alternativas relacionado ao conceito específico. A única área em que encontramos estudos sobre concepções alternativas para o conceito foi a Química, que será o foco das nossas discussões em seção posterior neste artigo.

Por fim, para o domínio microgenético foram seguidas as orientações encontradas em Mortimer *et al.* (2011). Para tal, aplicou-se um questionário (Apêndice A) junto a 39 alunos dos cursos de Química (Licenciatura e Bacharelado) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). O grupo escolhido foi composto por três tipos de respondentes: 1. Graduandos com um mínimo de 80% da grade curricular do curso completo; 2. Alunos formados recentemente pela instituição; e 3. Mestrandos da Pós-graduação

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

em Química da mesma Universidade. A maioria dos trabalhos encontrados sobre equilíbrio químico envolvem respondentes do Ensino Médio ou graduandos em semestres iniciais, além de professores, estes geralmente de educação básica. Por este motivo, decidimos atuar num grupo mais avançado academicamente ao supor que a abordagem do conteúdo foi feita de forma mais complexa, elevando também a profundidade das respostas obtidas.

A coleta de dados foi iniciada em novembro de 2017 e se encerrou em março de 2019. Uma vez coletados, os dados foram preparados para a análise por meio do *software* Atlas.ti. A análise das respostas obtidas seguiu uma abordagem qualitativa, baseada na indução, para a proposição de categorias de acordo com as semelhanças nos modos de pensar/falar sobre equilíbrio, equilíbrio químico e a origem deste estado no curso das reações químicas. Essas categorias, por sua vez, representam um compromisso da análise com a perspectiva dos sujeitos investigados (as categorias *emic*, quando nomeamos as categorias com termos utilizados por eles), mas também com a perspectiva científica (as categorias *etic*, nomeadas com termos e conceitos da teoria sobre equilíbrio químico).

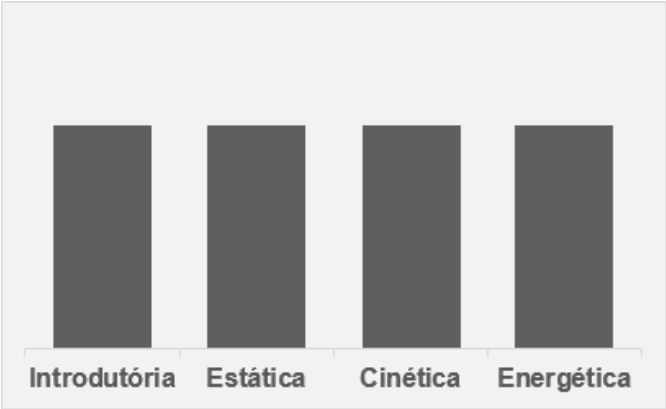
A Proposta do Perfil Conceitual para o conceito de Equilíbrio

Nesta seção apresentaremos as quatro zonas propostas para o perfil conceitual de equilíbrio e o modo pelo qual elas foram construídas. Todas as zonas, em teoria, deveriam possuir o mesmo peso no pensamento de um indivíduo (figura 1). Na prática, a altura de cada coluna irá depender da importância dada por um indivíduo para cada uma destas zonas.

Iniciaremos sempre pela apresentação do domínio sociocultural para depois relaciona-lo com o domínio microgenético, sendo que para este último foram analisadas as respostas para a seguinte pergunta: “O que você compreende por equilíbrio? ”.

As porcentagens que serão apresentadas posteriormente foram aproximadas e por este motivo seu somatório pode não coincidir com 100%. Para estruturar o domínio microgenético de cada zona, analisamos as respostas para a questão 01 (apêndice A).

Figura 1. Zonas do perfil conceitual de equilíbrio.



This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

O equilíbrio foi citado no contexto da estabilidade mental por 8% (3) do total, como no caso do respondente 5: “Centralidade e consciência nas ações realizadas”. Este grupo de respostas se distancia do nosso objetivo, e por isso o desconsideramos.

Zona intuitiva

Após levantamento bibliográfico, trazemos como conclusão que a etimologia da palavra equilíbrio deriva do latim *aequilibrium* e significa “igualdade de peso na balança” (Nascentes, 1966). Esta fonte, porém, não indica a idade exata do termo. Discutiremos nesta zona o modo de pensar sobre equilíbrio que está intimamente relacionado com a experiência cotidiana.

Arquimedes de Siracusa (287-212 a.C) escreveu dois trabalhos principais, *De centris gravium* (sobre o equilíbrio de planos) e *De insidentibus aquae* (sobre o equilíbrio de corpos flutuantes). A primeira obra introduziu na mecânica um raciocínio baseado em matemática pura e apresentou a determinação do centro de gravidade para várias figuras planas. Nessa mesma obra, o autor postulou que pesos iguais em distâncias iguais estão em equilíbrio em uma balança. Já na segunda obra, Arquimedes trouxe à luz o seu famoso princípio que é usado para calcular o volume de objetos de diferentes formas após inseri-los em fluidos, dentre outras contribuições (Park e Daston, 2008).

O uso do termo equilíbrio por Arquimedes é o registro mais antigo que encontramos. Sugerimos que a noção de equilíbrio está fortemente ligada ao funcionamento da balança e norteia os pensamentos iniciais sobre esse conceito. O dicionário Oxford (2019), entretanto, afirma que o termo equilíbrio teve origem no início do século 17, no sentido de “um estado da mente bem balanceado”. Pensamos que este modo de pensar também se inspira claramente no uso da balança, mas não será aprofundado neste momento pois não está inserido nas áreas de conhecimento de nossa pesquisa.

Após o levantamento da semântica do termo equilíbrio nos seis dicionários utilizados, notamos que existem dois padrões de definições que compõem essa zona intuitiva. O primeiro deles engloba significados que nos indicam o sentido de “igualdade quantitativa” e estava presente em 3 dicionários de forma explícita (A, H e M), enquanto os outros três deixaram implícito o sentido de estabilidade de uma balança. O segundo padrão consiste em definições que expressam a ideia de “estabilidade física de um corpo ou constância de um valor numérico”, e surgiu apenas em A, H e M. Algumas das respostas obtidas na aplicação do questionário que continham excertos atribuídos à zona intuitiva também apresentavam excertos que envolviam o conceito de força (isso será abordado na subseção seguinte). Deve-se registrar,

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

entretanto, que diferentes modos de falar/pensar podem emergir em uma mesma frase e isso é natural no estudo de perfis conceituais, já que faz parte das premissas da teoria a coexistência de diferentes modos de pensar no mesmo indivíduo, e assim é manifestada a heterogeneidade no plano individual.

Ao analisarmos as respostas obtidas por meio do questionário para a questão 01, notamos que 36% (14) dos respondentes afirmaram que o termo equilíbrio está relacionado com "igualdade quantitativa", como na resposta do aluno 30: "*Equilíbrio seria o ponto de igualdade*".

A noção de estabilidade foi observada em 23% (9) das respostas, seja para a posição de um corpo ou para um valor numérico, contanto que não sejam notadas oscilações. O aluno 04, por exemplo, afirma que: "*Um estado onde se encontra em equilíbrio, de maneira proporcional aos lados*". O uso da palavra proporcional nos sugere que a razão não precisa ser necessariamente igual para cada lado, bastando haver apenas a estabilidade entre eles. Outros 18% (7) abrangeram em suas respostas ambas as categorias apresentadas anteriormente, a exemplo do aluno 15: "*Equilíbrio é algo que se mantém constante, estável, sem grandes oscilações*".

Com um total aproximado de 77% das respostas representando esta zona do perfil, os dados obtidos com o questionário expressam a predominância do modo de pensar relacionado ao cotidiano por parte dos respondentes para o conceito estudado. Esse mesmo modo de pensar também se expressou na história das Ciências. Lavoisier, por exemplo, iniciou em 1789 uma série de experimentos por meio dos quais ele concluiu que para os animais existiam três tipos de processos reguladores: a respiração, a digestão e a transpiração, que deveriam estar em equilíbrio entre si para que o corpo atingisse seu equilíbrio material (Nye, 2008). Na Biologia, o equilíbrio de Hardy-Weiberg considera que em uma população idealizada de uma determinada espécie, a frequência do aparecimento de certos alelos determinantes de suas características será sempre o mesmo (Edwards, 2008).

Zona estática

Nesta zona encontram-se os modos de pensar o conceito de equilíbrio relacionado com as noções de "igualdade" e "estabilidade" nos sentidos discutidos na zona intuitiva. No entanto, a zona estática vai além ao incorporar conhecimentos científicos àquelas noções, característica essa que a difere da zona anterior. A ideia proveniente da Física sobre "forças que se anulam" é uma das mais frequentes, mas seu entendimento, porém, não se deve limitar a essa noção, já que o estado estático também nos leva a pensar em uma situação sem movimento ou variação,

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

não sendo necessário envolver o conceito de força para se alcançar a igualdade entre dois ou mais lados. Sendo assim, destacamos que os compromissos passam de uma ontologia material (caracterizada por quantidade e estabilidade de algo) para uma ontologia processual, com a qual o indivíduo busca explicar o motivo pelo qual se obtém a igualdade ou a estabilidade.

Apesar do sentido cotidiano do conceito de equilíbrio ter sido popularizado por meio do uso da balança, consideramos importantes os estudos sobre a mecânica e hidrostática e, por este motivo, faremos um resumo da história destes dois ramos da Física apresentada por Park e Daston (2008). O início do estudo sobre as alavancas, que às vezes é erroneamente atribuído a Aristóteles (384-322 a. C.), chamou a atenção de Arquimedes e, além de suas realizações já comentadas na apresentação da zona intuitiva, ele desenvolveu a hidrostática prevendo as condições para o equilíbrio de corpos imersos em um fluido. Antes de apresentarmos o conceito de força como é entendido atualmente, alguns eventos foram importantes para a evolução deste conceito, com implicações diretas na evolução do conceito de equilíbrio.

Entre os séculos 16 e 17, o estudo da mecânica deixa de estar limitado ao entendimento sobre a construção e funcionamento das máquinas, e incorpora a ideia de que a velocidade de um objeto poderia aumentar a força do impacto contra outro objeto. Um dos grandes contribuidores para esse avanço foi Galileu Galilei (1564-1642), que investigou a influência do peso dos objetos em sua velocidade de queda livre, chegando a conclusões importantes, como a proposição da existência da aceleração igual para todos os corpos e de que a velocidade era proporcional ao tempo. Além dessa descoberta, ele percebeu que a projeção horizontal e a queda vertical são independentes e que, quando operavam em conjunto, davam a um objeto uma trajetória parabólica. Mesmo com essas importantes deduções baseadas nos resultados de seus experimentos, Galileu não constituiu uma ciência baseada em princípios evidentes e provas rigorosas (Park e Daston, 2008).

Na segunda metade do século XVII, as redes informais de comunicação foram em grande parte substituídas pelas academias científicas e o alcance das pesquisas e seus resultados foi ampliado para áreas como a Filosofia e a Cosmologia. Um dos expoentes dos pensamentos científico e filosófico desse período foi Descartes (1596-1650), que desenvolveu sua metafísica baseando-se tanto na Física como na Teologia. Ao estudar o movimento dos corpos, ele propôs que: 1. Todo corpo permaneceria em seu estado de movimento ou descansaria indefinidamente; 2. Que esse movimento se daria em linha reta e

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

que tudo que se movia em círculos teria a tendência a escapar do centro pela tangente; 3. A conservação do movimento de um corpo depende do produto entre o tamanho de um corpo e sua velocidade. Anos depois as duas primeiras formaram base da primeira lei de Newton.

Na Cosmologia, Hooke (1635-1703) propôs uma analogia imperfeita entre o movimento dos corpos celestiais e o de um pêndulo cônico. Em ambos os casos, uma atração central desvia o corpo de seu trajeto retilíneo, mas enquanto no pêndulo a força aumenta com a distância, nos corpos celestiais ela diminui. Esta e outras ideias chamaram a atenção de Newton, e ele foi o primeiro a resolver o problema da força atrativa requerida para produzir as órbitas elípticas descritas por Kepler (1571-1630) ao considerar a força centrífuga proposta por Huygens (1629-1695). Com esta descoberta, os cometas passaram a ser considerados como similares aos outros corpos celestiais, como os planetas e seus satélites que se moviam graças a ação da gravidade universal.

Não está claro quando Newton chegou ao resultado de que nas órbitas elípticas a força seria inversamente proporcional ao quadrado da distância. Os resultados matemáticos e físicos de suas pesquisas apareceram em 1687 em seu livro *Principia mathematica* que trouxe definições importantes, como as de massa (diferenciando-a do peso) e força centrípeta, além de suas famosas três leis. Ele foi ainda mais longe e propôs que todas as partes da matéria são atraídas entre si com uma força inversamente proporcional ao quadrado de sua distância. A diferença principal entre as ideias apresentadas por Newton e as de Galileu e Descartes era o rigoroso tratamento matemático realizado em seus estudos.

As ideias de Newton foram tão bem aceitas pela comunidade científica que pareceram inspirar outros campos além da mecânica. Ele sugeriu em seu livro *Opticks* (1704) que as ligações entre substâncias químicas deveriam ser fruto da relação entre forças de atração similares às forças gravitacionais. Essa ideia encontra eco em Boerhaave (1668–1738) que afirmou em seu livro *Elementa chemiae* (1724) que os corpos apresentam forças de expansão e contração inerentes às propriedades da matéria, e mantêm seu volume enquanto a temperatura permanece constante porque os as duas forças estão em equilíbrio.

Já no final do século XVIII, Berthollet fazia parte de uma expedição ao Egito capitaneada por Napoleão Bonaparte, quando ficou intrigado ao notar a contínua formação de carbonato de sódio na beira de um lago. Ele considerou que havia uma grande quantidade de reagentes no local, enquanto os produtos da reação eram constantemente removidos de forma natural. Essa observação contradizia a

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

teoria proposta por Bergman, segundo a qual a formação de carbonato de sódio seria impossível, já que as reações deveriam se completar e apresentar um caráter unidirecional (Quílez, 2009). Quando retornou da expedição, Berthollet realizou vários experimentos e seus resultados evidenciaram que a quantidade das substâncias presentes no meio influenciava a direção da reação. Depois da confirmação dessa ideia por meio de experimentos, pela primeira vez se considerou a reversibilidade das reações químicas (um dos pilares do conceito de equilíbrio químico). Ele ainda ponderou que as reações de substituição nunca eram completas devido a um equilíbrio de estado entre forças de afinidade opostas (Quílez, 2007). Esse é o primeiro modo de pensar acerca do conceito de equilíbrio na Química, o qual foi usado neste caso para significar o balanço entre forças químicas, exatamente os mesmos termos utilizados na mecânica (Lindauer, 1962).

Em 1862, Berthelot e Saint-Giles consideraram que não era apropriado trabalhar com as reações entre ácidos, bases e sais, que eram o principal objeto de estudo da reversibilidade até então. Por isso, eles começaram a estudar intensamente o equilíbrio químico em reações de esterificação, especialmente por que elas eram mais lentas, e as quantidades de cada substância eram sempre altas o suficiente para serem medidas (Quílez, 2006). Baseando-se nos trabalhos de Berthelot e Saint-Giles, Guldberg e Waage começaram a realizar diversos experimentos que, após alguns anos, culminaram na proposição da *lei da ação das massas*. Baseando-se no pensamento newtoniano, eles assumiram que as forças químicas não eram proporcionais à quantidade das substâncias, mas sim à massa ativa delas (que hoje conhecemos por concentração) (Quílez, 2018). Destaca-se aqui que os termos introduzidos anteriormente por Berthollet na Química (“massa” e “esfera de ação”) foram importantes para o entendimento de Guldberg e Waage em relação às reações químicas. Além disso, deve-se lembrar de que não foram eles os responsáveis por introduzir o caráter dinâmico no conceito de equilíbrio químico, pois a lei de ação das massas foi desenvolvida de forma empírica, igualando-se os dois sentidos reacionais.

Na Geologia, Clarence Dutton introduziu em 1889 o termo “isostasia” ao defender a ideia de que a terra não era uma esfera ideal, havendo protuberâncias nas quais a matéria era mais leve e depressões nas quais a matéria era pesada. Além disso, ele também defendeu que os fatores perturbadores do equilíbrio isostático seriam as erosões e deposições sofridas na superfície. Pouco após o início do século XX, John Joly, Frank Taylor e Alfred Weneger separadamente foram os primeiros a defender a ideia de deslocamento

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

dos continentes. Inicialmente eles foram bastante desacreditados até que a grande quantidade de provas obtidas empiricamente modificou o entendimento, que passou a ser o de que as enormes massas de terra se moviam porque abaixo delas havia um fluido, fazendo-as flutuar num equilíbrio hidrostático (Bowler e Pickstone, 2009). Esse movimento foi entendido como uma consequência de perturbações ocorridas na superfície que logo cessavam e, por isso, assume um caráter estático.

Em 1972, Niles Eldredge e Stephen Jay Gould propuseram uma teoria chamada de "equilíbrio pontuado" (Santos, 2013). Nela, os cientistas propõem que a evolução não é um processo lento e contínuo, no qual as mutações são gradualmente moldadas pelo ambiente como originalmente pensava Darwin, e defendiam que havia mudanças incrementais e cumulativas. Segundo eles, o que acontece são evoluções pontuadas causadas por mudanças rápidas no ambiente, seguidas por períodos de estase em que a estabilidade domina.

Nos dicionários, encontramos cinco significados relacionados com o estado estático de equilíbrio. Nota-se a predominância da noção "igualdade" entre forças opostas (A, H, M, O e W) sobre a noção de "estabilidade" causada pelas forças opostas (A e H).

Coincidentemente, nas respostas obtidas por meio do questionário apenas quatro delas (10%) relacionaram o conceito de equilíbrio com essa zona, estando todas elas relacionadas à "igualdade" entre forças opostas, como afirma o respondente número 09: "*É um sistema de compensação entre forças, fazendo com que as mesmas se anulem*". Esperávamos mais relações entre equilíbrio com o conceito de força, já que os respondentes cursaram disciplinas de Física na graduação.

Zona cinética

O primeiro tratamento cinético do conceito de equilíbrio surgiu em 1850, quando um cientista inglês chamado A. W. Williamson estava conduzindo experimentos para estender a cadeia carbônica de um álcool comum à época, e obteve éter etílico. Com isso, ele não apenas elucidou a composição correta da água, do álcool e do éter, como também desenvolveu uma teoria dinâmica para as reações químicas. Segundo ele, o mecanismo da reação seria inconcebível se não fosse pensado como um processo de trocas contínuas entre elementos em um agregado molecular (Quílez, 2006). Williamson chegou à conclusão de que existia um equilíbrio dinâmico como única explicação para os dados obtidos experimentalmente, porém não realizou nenhum aprofundamento matemático. Os resultados obtidos por

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

Wilhelmy também em 1850 no seu estudo quantitativo sobre a reação de inversão da sacarose também evidenciavam um caráter dinâmico para o equilíbrio químico, desta vez inclusive com cálculos e fórmulas matemáticas, porém sua pesquisa não atraiu a atenção da comunidade científica (Martorano *et al.*, 2014).

O próximo a propor uma teoria dinâmica para o equilíbrio foi Maxwell (1867), quem definiu que, no equilíbrio, a taxa de colisões das moléculas da reação direta apareceria em uma dada velocidade final igual à taxa de colisões que efetuavam a transformação inversa. Sua teoria também assumia a existência de um equilíbrio em que o número de moléculas que se movia em uma determinada faixa de velocidades seria uniforme através do tempo (Nye, 2008). Também em 1867, L. Pfaundler escreveu um artigo em que abordava as reações químicas sob o olhar da teoria cinética desenvolvida por Clausius (para evaporação e condensação de líquidos em sistemas fechados) (Quílez, 2006), sendo o primeiro a aplicar a teoria mecânica do calor para reações químicas. Para Pfaundler, as moléculas colidiriam entre si para reagir, mas nem todas as colisões seriam efetivas, e apenas as moléculas com energia cinética suficiente poderiam se dissociar e recombinar por meio de colisões (Quílez, 2017a).

Na Biologia, H. C. Cowles estudava em 1901 a vegetação da costa do lago Michigan quando, ao considerar as formas topográficas muito inconstantes das dunas presentes ali, chegou à conclusão de que as sociedades de plantas deveriam ser sucedidas constantemente na paisagem. Em seu entendimento, com o passar do tempo uma sociedade de plantas precisaria ser necessariamente suplantada pela outra, formando um processo de equilíbrio dinâmico. Nesse caso, tratamos da taxa de aparecimento e desaparecimento das plantas com o passar do tempo, evidenciando que a velocidade de ambos deve ser igual ou estável (Bowler e Pickstone, 2009).

Para esta zona, apenas os dicionários C, O e W expuseram o caráter dinâmico do equilíbrio relacionando-o com a cinética, e destacamos que todos eles são da língua inglesa. Além disso, a única (3%) resposta obtida por meio do questionário que pôde ser inserida nessa zona foi a do respondente 19: "*É o estado onde a velocidade do processo é constante ou não há alterações grandes*". Uma possível explicação para essa ausência é a de que o conceito é tratado nesse sentido apenas pela ciência e, devido à preponderância da linguagem cotidiana no pensamento dos indivíduos, uma resposta diferente não pôde ser pensada porque a pergunta não estava inserida no contexto

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

científico, que seria para eles o de equilíbrio químico.

Zona energética

Esta zona é a que menos encontramos registros na história da ciência, e em sua maioria estão inseridos na Química. Sua primeira menção aparece em 1884, quando J. G. Van't Hoff publicou o *Studies in Chemical Dynamics*, trabalho que trazia considerações sobre a natureza dinâmica do equilíbrio químico, inclusive com a representação da dupla seta para substituir o sinal de igualdade (Quílez, 2017b). Ele descreveu a variação da constante de equilíbrio em função da temperatura, além de desenvolver a mesma lei da ação das massas proposta por Guldberg e Waage de uma maneira diferente e totalmente baseada em cálculos termodinâmicos.

Quando a cinética química e a termodinâmica se consolidaram, Van't Hoff avançou nos estudos sobre a lei de ação das massas, afirmando que o trabalho máximo realizado por um processo químico poderia ser tomado como uma medida da afinidade química na reação. Além disso, indicou que a lei da ação das massas era válida apenas para sistemas isotérmicos, e que a influência da temperatura no equilíbrio poderia ser determinada por meio de considerações envolvendo a segunda lei da termodinâmica, proposta por Clausius em 1850 (Lindauer, 1962).

Em 1884, Van't Hoff ainda formulou o princípio do equilíbrio móvel, que foi posteriormente simplificado por Le Chatelier e acabou sendo popularizada pelo nome do segundo. Em 1907, G. N. Lewis introduziu os conceitos de atividade e fugacidade para substituir o de concentração, numa definição mais precisa de equilíbrio químico (Lindauer, 1962). Já o termo 'energia livre' foi introduzido por Helmholtz com o significado de "a quantidade de trabalho disponível para uso". Em 1923, J. Williard Gibbs publicou seu trabalho intitulado *Thermodynamics* e, graças ao grande interesse em processos sob pressão constante, seu trabalho foi reconhecido e a energia livre de Gibbs foi introduzida (Lindauer, 1962).

Na Biologia, Arthur Tansley afirmou no início do século XVIII que em um ecossistema os componentes estão em um equilíbrio dinâmico estável (Bowler e Pickstone, 2009). Essa ideia foi ampliada em 1944, quando Erwin Schrodinger interpretou os seres vivos sob um ponto de vista termodinâmico. Para ele, os seres vivos podiam atrasar a sua morte, ou seja, o momento em que eles alcançam a máxima entropia possível, por meio de processos metabólicos. Os irmãos Eugene e Howard Odum, alunos de Tansley, seguiram o modelo de pensamento de seu professor, entendendo um ecossistema como

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

uma máquina termodinâmica capaz de manter a si mesma em um estado de equilíbrio oscilatório ao redor de seu clímax (Bowler e Pickstone, 2009).

Para esta zona não foram encontrados nos dicionários pesquisados nenhum significado que relacionasse o conceito de equilíbrio com o de energia. Os alunos entrevistados também não evidenciaram essa associação. Como esta é a última zona do perfil e, consequentemente, a mais complexa (apesar de não ser mais importante do que as outras), aliando-se ao fato de que o conceito estudado é considerado como problemático por alunos e até por professores na área de Química, o resultado encontrado não surpreende.

Relações entre o Perfil Conceitual de equilíbrio e o Equilíbrio Químico

Para obter os dados referentes aos modos de pensar/falar dos estudantes sobre o conceito de equilíbrio químico foram feitas as seguintes perguntas (apêndice A): Questão 03. “O que você compreende por equilíbrio químico? ”; e Questão 04. “Como você explica a origem do estado de equilíbrio químico? Em sua resposta, por favor, descreva os fatores e as condições que você considera necessárias para que uma reação alcance esse estado. ”A análise dos dados foi realizada baseando-se nas ideias de causa e consequência, em que a resposta para a questão 04 deveria ser a causa para a questão 03. Além disso, também investigamos como os alunos expressavam o princípio de Le Chatelier em suas respostas para a questão 04.

As respostas foram agrupadas em sete categorias, a saber: 1) noção de igualdade; 2) noção de estabilidade; 3) variáveis de estado; 4) estado estático; 5) dinâmico simples; 6) equilíbrio cinético; 7) equilíbrio energético. Estas categorias estão dispostas no quadro 1 (abaixo).

Para a questão 03, 8% das respostas (três) foram desconsideradas por não fazerem sentido de acordo com a nossa proposta, como a do aluno 28: “*Quantidades necessárias de reagentes para formar o produto*”.

Quadro 1. Relação entre as zonas do perfil conceitual de equilíbrio e as categorias para o conceito de equilíbrio químico.

Equilíbrio	Equilíbrio químico
Zonas	Categorias
Zona intuitiva	Noção de igualdade Noção de estabilidade
----------	Variáveis de estado
Zona estática	Estado estático
----------	Dinâmico simples
Zona cinética	Equilíbrio cinético
Zona energética	Equilíbrio energético

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

Encontramos uma predominância do caráter cinético em quase metade das respostas (46%), nas quais os alunos afirmaram que, para se atingir o estado de equilíbrio, as velocidades das reações direta e inversa deveriam estar igualadas. Todas elas apresentavam opiniões similares, como exemplo a do aluno 10: "*Equilíbrio químico é a condição na qual a concentração de uma espécie não varia liquidamente em função do tempo. Isto ocorre, pois, a mesma quantidade consumida dessa espécie é formada, quase que instantaneamente*".

Essa ideia está mais afastada do pensamento espontâneo, logo apresenta uma elaboração conceitual derivada do ensino formalizado, e mais correta sob o ponto de vista científico. Nos chamou a atenção o uso por parte de dois respondentes do termo "variação líquida" em referência à quantidade de reagentes e produtos, da mesma forma que é utilizada na matemática financeira para expressar o fluxo de caixa, em que se calculam os valores de entrada e de saída de dinheiro. Para estes dois respondentes, as quantidades de reagentes e produtos permaneceriam estáveis mesmo com a reação ainda acontecendo.

A noção de igualdade obteve a mesma frequência que a noção de estabilidade (13%). Elas estão representadas nas respostas dos alunos 12 e 04, respectivamente: "*Equilíbrio químico ocorre quando ambos os lados (reagentes/produtos) tem a mesma quantidade de matéria (massa)* " e "*Onde há uma proporção de reagente e produto que se mantém constante na reação*". A diferença entre essas duas noções se dá pela presença na primeira de uma concepção alternativa, de que a concentração dos reagentes é igual à dos produtos no equilíbrio químico (Hackling e Garnett, 1985; Raviolo e Martínez, 2003; Carobin e Serrano, 2007). Pela noção de estabilidade, entretanto, entende-se que a concentração dos reagentes e produtos podem ou não ser iguais e por isso faz-se necessário tomar cuidado com as atividades presentes nos livros didáticos, que podem confundir os alunos. Uma alternativa é utilizar as palavras "proporção e "constante" no sentido pretendido, levando em consideração a estequiometria entre produtos e reagentes (Locaylocay *et al.*, 2005). Nessas duas categorias estão as respostas que, apesar de apresentarem uma linguagem próxima da científica (e.g produtos, reagentes), distanciam-se da elaboração conceitual consensuada cientificamente.

Quatro respostas (11%) evidenciaram o pensamento sobre o caráter estático do equilíbrio, e nelas se afirmava que os produtos e reagentes deixariam de reagir entre si no estado de equilíbrio, que também é uma das concepções alternativas encontradas na literatura (Hackling e Garnett, 1985; Raviolo e Martínez, 2003; Carobin e Serrano, 2007).

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

Temos, por exemplo, a resposta do aluno 22: "*Equilíbrio é um estado químico onde tanto o reagente quanto o produto de uma reação estão equivalentes entre si e, portanto, deixam de reagir*". Considerando que parte dos respondentes estão, no mínimo, prestes a concluir sua graduação, a presença dessas concepções é motivo de preocupação. Elas indicam que, durante o curso, as dificuldades na compreensão do conceito parecem não terem sido identificadas.

O mesmo aluno do último exemplo afirmou: "*As substâncias tendem a se deslocar para atingir um melhor estado de estabilidade, equilibrando assim uma reação. Para isso são necessários uma temperatura, pressão e concentrações adequadas*". Fica claro então que, para alguns respondentes, a reação não precisa ser dinâmica para que haja a reversibilidade, evidenciando a concepção alternativa de que no estado de equilíbrio o efeito das concentrações é entendido como um comportamento pendular. Isto é, a reação só iria acontecer quando alguma variável do sistema sofresse alteração, seja para a formação dos produtos ou dos reagentes, e voltaria ao equilíbrio logo depois.

Além do equilíbrio cinético, apenas duas respostas (6%) previram o caráter dinâmico do equilíbrio. Dois deles não esclareciam o suficiente se seu fundamento estava relacionado com a cinética ou com a termodinâmica, um deles inclusive citando a "não mudança" na concentração dos reagentes e produtos no mesmo sentido que o "balanço" comentado anteriormente, mas com a diferença que ele respondeu explicitamente que a reação continua "acontecendo", como pode-se ver a seguir: "*Equilíbrio Químico é o estado em que não há 'mudança' na concentração dos reagentes e produtos. Porém a reação está acontecendo e essa não mudança é em função da soma da reação como todo, porém no total ele tende a zero*". A outra resposta (aluno 36) foi a única que abrangia um conceito da termodinâmica: "*De modo resumido, é o processo de manter a formação de reagentes e produtos na mesma velocidade, atingindo um potencial químico adequado*". As últimas duas respostas (5%) para a questão 03 trataram apenas das variáveis do sistema, destacando a reversibilidade das reações sem dar mais nenhuma informação, como exemplo a do aluno 07: "*Equilíbrio químico é demonstrado pela reação em que determinadas condições tendem a formar produtos ou volta aos reagentes. Dependente das condições físicas (como temperatura ou pressão) e químicas (quantidade de reagente adicionado)* ".

A questão 04 (apêndice A) teve 16 respostas (41%) relacionadas ao equilíbrio cinético e, novamente, este foi o maior número entre as categorias, além de manter o mesmo padrão de resposta visto no exemplo da questão 03. Esse número é bastante alto,

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

considerando que o objetivo da pergunta foi o de buscar informações sobre as possíveis causas para o estado de equilíbrio. Reforçamos então que a igualdade das velocidades é consequência, e não causa para o estado de equilíbrio, ou seja, ao afirmar que a reação está em equilíbrio porque as velocidades são iguais não se explica o motivo ou causa para se chegar a este ponto, que é onde se recorre à termodinâmica.

A segunda causa mais atribuída está inserida na categoria 3, com 9 respostas (23%), nas quais alguns dos estudantes justificaram que a alteração em uma das variáveis como temperatura, pressão, volume e concentração seria necessária para se chegar ao estado de equilíbrio. Como exemplo temos a resposta do aluno 17: "*O equilíbrio se origina pelo processo reversível de uma reação. Esse estado de equilíbrio se baseia no princípio de Le Chatelier onde as variáveis: temperatura, pressão, concentração podem deslocar ou favorecer a formação de algum composto da reação química*". Pode-se perceber que, apesar de o respondente citar corretamente algumas variáveis do sistema, não diz qual a influência delas para originar o estado de equilíbrio.

Notamos também que a maioria dos alunos já partiu do estado de equilíbrio para retornar a ele mesmo após uma perturbação, e isso nos faz pensar sobre qual posicionamento eles teriam se fosse especificado que a reação se processaria inicialmente apenas com a presença dos reagentes no meio. Isso nos faz acreditar que essa concepção precisa ser explorada em outra pesquisa, já que novas indagações deveriam ser feitas para aprofundar o entendimento dos alunos acerca desse ponto de vista. Quatro alunos inseridos nessa categoria limitaram a ocorrência do estado de equilíbrio a reações que ocorrem em um sistema fechado, concepção alternativa que aparece no trabalho de revisão feito por Raviolo e Martínez (2003).

Outros seis alunos (15%) afirmaram que a causa para o estado de equilíbrio era a busca por igualdade ou estabilidade entre os reagentes/produtos e estão diretamente ligados à zona intuitiva do perfil de equilíbrio, enquanto apenas um (aluno 34) atribuiu um caráter estático quando a reação atingia o equilíbrio, trazendo à tona a zona estática de equilíbrio, como se pode perceber a seguir: "*O estado de equilíbrio ocorre quando a reação química se completa. Geralmente vai depender do ambiente, temperatura e pressão da local da reação e a concentração e estado físico dos reagentes*".

Ao questionar sobre a origem do estado de equilíbrio, esperávamos que as respostas envolvessem as causas termodinâmicas, porém obtivemos um número muito pequeno de respostas associadas a essa zona. Em 5% das respostas (duas) o equilíbrio químico foi justificado baseando-se na noção energética,

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

como na resposta do aluno 05: "*Assim como qualquer reação química, o equilíbrio químico é a busca pelo grau de menor energia, busca de um rearranjo ideal das moléculas, atingindo o grau de mais baixa energia*".

O conceito de potencial químico esteve presente em duas respostas, sendo uma delas a do aluno 10: "*O equilíbrio químico tem como causa os fatores termodinâmicos da reação. Em tese, todas as reações químicas são reversíveis até certo ponto. No entanto, para algumas, a condição de equilíbrio se encontra quase que totalmente deslocada em um dos sentidos da mesma. Do ponto de vista termodinâmico, o estado de equilíbrio ocorre pela tendência do sistema em alcançar uma condição de menor energia livre ou potencial químico (μ). A medida que o valor do potencial químico se aproxima de zero as velocidades das reações direta e inversa se tornam cada vez mais próximas. Outro fator do qual o equilíbrio químico é dependente é a temperatura, pois a medida que o valor de T é alterado, bem como no caso da energia livre, o valor da constante de equilíbrio também se altera. Dessa forma, alterar uma dessas variáveis têm implicações no valor da relação entre os produtos e reagentes e, consequentemente, na extensão da reação*". A resposta acima foi a única que apresentou todos modos de pensar quimicamente corretos para o conceito de equilíbrio químico.

A ausência dos conceitos provenientes da termodinâmica (e.g. energia potencial, entropia, energia livre) nos dados coletados dos respondentes, sugerem pouca familiaridade com conceitos relacionados à zona energética (e, por sua vez, com a termodinâmica em si), e nos leva a refletir sobre a contribuição deste conteúdo para a aprendizagem conceitual sobre equilíbrio químico.

Dado seu caráter fundamental para o entendimento de um sistema reacional, era de se esperar que a termodinâmica estivesse mais presente nas respostas dos estudantes e, por este motivo, se esperava que a presença da zona energética fosse mais acentuada. Para Sabadini e Bianchi (2007), por exemplo, a abordagem do conceito de equilíbrio químico deve ser feita, preferencialmente, baseada no ponto de vista da termodinâmica, incluindo as discussões sobre velocidade das reações para a cinética química. Para estes autores, os livros textos que abordam o conceito de equilíbrio químico sob o ponto de vista da cinética química, deixam de apresentar aos leitores o fato de que as reações químicas são regidas pelas leis universais que descrevem as transformações da natureza.

Como resultado de nossa análise, foi possível perceber a associação entre o conceito de equilíbrio relacionado com noções de igualdade ou estabilidade, mudando

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

apenas como os alunos compreendiam a sua origem. O conceito de equilíbrio é muito influenciado pelo sentido original relacionado com o uso da balança, e nosso estudo evidencia essas implicações entre a balança e o equilíbrio.

Quando relacionamos os resultados do questionário com as zonas propostas para o perfil conceitual de equilíbrio, notamos que a zona intuitiva ainda estava presente de maneira intensa na escrita dos alunos. Além disso, parece existir uma relação entre o caráter cinético para o equilíbrio químico e a zona intuitiva. Talvez os respondentes associem a igualdade entre dois lados (zona intuitiva) com a igualdade entre quantidades de massa ou concentração dos reagentes e produtos em uma reação, e também com as velocidades iguais para a formação de ambos, tornando o uso inconsciente dessa relação entre igualdades um fator prejudicial para a aprendizagem conceitual dos indivíduos. Isso também poderia explicar, ainda que parcialmente, as dificuldades dos estudantes em adquirir esse conceito sob a ótica da termodinâmica.

Tomar consciência de um perfil conceitual e da demarcação entre suas zonas implica ser capaz de aplicar uma ideia científica nos contextos em que ela é apropriada, inclusive na vida cotidiana e, ao mesmo tempo, preservar modos de pensar e falar distintos do científico nas situações em que estes modos se mostrem pragmaticamente apropriados (Mortimer *et al.*, 2011). Isso é particularmente importante quando pensamos sobre o ensino de Química, já que um estudante dificilmente compreende essa multiplicidade de significados como uma característica natural da ciência (Mortimer e El-Hani, 2014). Se os estudantes fizeram pouco uso do modo de pensar relacionados à termodinâmica, podemos entender, de acordo com a teoria do perfil conceitual, que a quantidade de experiências que eles vivenciaram não foi suficiente para causar um aprofundamento permanente na zona, culminando no enfraquecimento dela. Isso pode acontecer tanto como consequência do método de abordagem do professor quanto por desinteresse do aluno. É importante considerar, é claro, que os estudantes podem estar em um processo de desenvolvimento cognitivo em que eles dominam uma ideia, mas ainda não estão cientes de como encaixá-la na heterogeneidade de seu próprio pensamento (Mortimer e El-Hani, 2014).

Meneses (2007) afirma que algumas das dificuldades para o aprendizado do conceito de equilíbrio químico provém da aplicação de algoritmos em detrimento da explicação conceitual nos livros didáticos e também da descontextualização do conteúdo, que é apresentado de forma desconectada da vida cotidiana dos alunos. Boas analogias, no entanto, podem ajudar os alunos a adquirirem

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

um conceito abstrato, como no caso de equilíbrio químico. Silva e Amaral (2015) discutem a analogia que relaciona o conceito de equilíbrio químico com o equilíbrio líquido/vapor d'água. Esse tipo de analogia utiliza a mudança física como análoga a uma reação química, limitando-se, no entanto, a ajudar a explicar o seu caráter dinâmico.

Durante nossa análise para a sexta questão do questionário, "*Descreva situações de equilíbrio químico que podem ser observadas em nosso cotidiano*", obtivemos sete respostas em que essa confusão entre mudança química e física estava presente. Além disso, em um dos dicionários (O) também está presente esse significado errôneo do ponto de vista químico: "*Química. Um estado no qual um processo e seu inverso estão ocorrendo em taxas iguais de modo que nenhuma mudança geral está ocorrendo. 'Gelo está em equilíbrio com a água"* (tradução nossa). Por isso se faz necessário que o professor esclareça os alunos quais são as semelhanças e diferenças entre os dois tipos de mudança que acontecem nos dois sistemas, diferenciando a mudança física da química. Caso contrário, alunos não assimilam que, para que um equilíbrio seja considerado químico, deve existir uma reação química, enquanto a analogia envolve apenas uma mudança de estado físico para uma mesma substância, a água. Logo, se a analogia não é discutida considerando as suas possibilidades e limitações, ela pode levar o aluno a ficar mais confuso ou mesmo construir concepções equivocadas.

As teorias do desenvolvimento conceitual tendem a assumir este processo como um esforço em direção a um caminho de conceitualização não-contraditório e unicamente poderoso, que pode supostamente subsumir todas as outras formas consideradas como "inferiores" (Mortimer e El-Hani, 2014). Por outro lado, uma teoria que pressupõe a multiplicidade de significados e de modos de falar como uma premissa básica posiciona o aprendiz da ciência em um lugar muito mais coerente de acordo com sua condição de pertencimento a diferentes comunidades e que isso implica lidar com diferentes pontos de vista.

Algumas estratégias com o intuito de amenizar as dificuldades encontradas no ensino do conceito foram listadas por Silva e Amaral (2017) e envolvem a experimentação (Maia *et al.*, 2005), o uso de analogias (Raviolo e Garritz, 2008) e os jogos didáticos (Soares, 2013). Silva e Amaral (2017) ainda propuseram que a articulação dos níveis de representação e compreensão do conhecimento químico, descritos por Johnstone (2000) poderia ser utilizada. Segundo ele, existem três: 1) o macroscópico representa o que estiver ao alcance dos sentidos, como tato e visão; 2) o nível submicroscópico envolve a imaginação de

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

íons, átomos, e outras unidades que são abstratas; 3) o nível simbólico se refere ao uso da linguagem química - fórmulas, equações e gráficos - para representar os fenômenos e as entidades submiscroscópicas. Este último geralmente é o mais utilizado pelos professores por causa do tipo de avaliação que é geralmente empregado.

Para Quílez (2004), defensor da abordagem da História e Filosofia da Ciência (HPS) para o ensino de equilíbrio químico, a reconstrução histórica do conceito de afinidade química permite aos professores desafiarem as primeiras ideias dos estudantes sobre reações químicas como a de que os processos são realizados apenas em um sentido e continuam até que um dos reagentes seja totalmente consumido. O autor afirma ainda que os professores podem utilizar a história do conceito de equilíbrio químico para promover a mudança conceitual nos estudantes. Mas o valor pragmático da linguagem cotidiana irá preservar significados que estão em desacordo com o entendimento científico (Mortimer e El-Hani, 2014), e por isso defendemos que não se deve buscar a mudança conceitual em um indivíduo, e sim torná-lo capaz de perceber a multiplicidade de modos de pensar que podem existir para um mesmo conceito. Os estudantes não têm que abandonar as formas alternativas e não científicas de pensar sobre o conceito, mas sim reconhecê-las como inconsistentes em relação conhecimento científico atual.

Então, pode-se introduzir a teoria do perfil conceitual e encorajar os estudantes a refletirem sobre uma forma de pensar que atualmente seja considerada como errônea cientificamente, porém se trata de um dos modos possíveis de pensar e possui importância tanto quanto a forma que estaria correta no mesmo contexto, evidenciando ainda a necessidade de buscar a forma de pensar correta para o contexto em questão (Mortimer e El-Hani, 2014).

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo principal a construção do perfil conceitual para equilíbrio, como subsídio para o ensino de equilíbrio químico. Propusemos quatro zonas para este perfil conceitual: a intuitiva, a estática, a cinética e a energética. Sugerimos que as distintas áreas das Ciências da Natureza apresentarão estas zonas em suas concepções particulares sobre equilíbrio de alguma forma, possibilitando o uso da teoria na avaliação da evolução conceitual de um indivíduo, enquanto simultaneamente se verifica a existência de concepções alternativas no pensamento do mesmo.

Considerando que o objetivo final é a emergência ou enriquecimento das zonas do perfil, recomendamos, para o ensino de equilíbrio químico, o uso da noção de

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

estabilidade em detrimento do uso da noção de igualdade. Por causa de seu forte vínculo com o sentido relacionado à balança, e consequentemente com a zona intuitiva, a noção de igualdade exige que os professores estejam preparados para limitar o seu sentido quando aplicada ao ensino de equilíbrio químico. Como sugestão, concordamos com Locaylocay (2005) ao indicar o uso das palavras “proporções” e “constantes”, em lugar dos termos “igual/iguais” ao se referir às concentrações.

Apesar de seu nível acadêmico, alguns respondentes ainda evidenciaram em suas respostas o modo de pensar relacionado com a zona estática de equilíbrio para o estado de equilíbrio químico. Isso reforça a importância da teoria do perfil conceitual para revelar os diversos entendimentos possíveis para o conceito, e que apesar de este modo de pensar não se alinhar com a visão científica (ainda que estivesse presente no desenvolvimento histórico do conceito), ele é importante e poderá ser utilizado em algum contexto futuramente, mesmo que para auxiliar a compreensão de outro indivíduo.

Ao construir as zonas do perfil ficou claro que nenhum dos alunos relacionava o caráter cinético com o conceito mais amplo de equilíbrio, em contraste com suas respostas para equilíbrio químico, pois a maioria o definiu como o resultado das taxas de formação iguais entre produtos e reagentes. Partindo do pressuposto de que a noção de igualdade tenha um grande peso nesse modo de pensar, é possível associar a igualdade presente no conceito de equilíbrio com a igualdade das reações direta e inversa num equilíbrio químico. Para nós, os alunos internalizam o caráter cinético mais facilmente por causa da relação de igualdade mostrada acima.

Dentre os obstáculos possíveis para a aprendizagem e o enriquecimento da zona enérgica, a relação entre igualdades explicitada acima pode ser uma delas. A cinética é entendida por boa parte dos respondentes como a origem do estado de equilíbrio, quando na verdade ela é consequência. Pouquíssimos dentre eles conceberam a real causa do estado de equilíbrio com a busca da estabilidade no meio reacional com os fatores termodinâmicos. Pode-se presumir, baseado na teoria do perfil conceitual, que a ausência de conceitos termodinâmicos nas respostas se deve ao pequeno número de situações e experiências que esses respondentes utilizaram esses conceitos na resolução de problemas.

Reforçamos que o perfil conceitual proposto nesse trabalho poderá ser aprimorado posteriormente. Nossa proposição carece de pesquisas que analisem dados sobre o terceiro objetivo da teoria, que é o de investigar o surgimento das zonas no discurso

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

de sala de aula. Destacamos o uso da História e Filosofia da Ciência como uma estratégia para ser implementada em sala de aula por já ter estudos bem fundamentados, com resultados disponíveis na literatura e que, caso sejam adaptados, conseguiriam abranger todas as zonas propostas para o perfil.

Conflitos de interesse

Não existem conflitos de interesse a declarar.

Agradecimentos

CAPES pelo financiamento.

Referências

1 Bachelard, G. (1936/1978) A Filosofia do Não. Coleção Os Pensadores. Editora Abril Cultural: São Paulo. 1936/1978.

2 Bowler, P. J. and Pickstone, J. V., (2009), The Cambridge History of Science, Bowler e Pickstone, Vol. 6, Cambridge: Cambridge University Press.

3 Carobin, C. e Serrano, A. (2007). Uma revisão das concepções alternativas em Equilíbrio Químico dentro do enfoque dos diferentes níveis de representação/A revision of the alternative conceptions in Chemical Equilibrium within the different level of representation of a chemical phenomena. Acta Scientiae, 9(2), 131-143.

4 Coutinho, F. A., El-Hani, C. N. e Mortimer, E. F. (2005). A construção de um perfil conceitual para a vida. In: Anais do V ENPEC.

5 Edwards, A. W. F. (2008). GH Hardy (1908) and Hardy–Weinberg Equilibrium. Genetics, v. 179, n. 3, p. 1143-1150.

6 El-Hani, C. N., da Silva-Filho, W. J. and Mortimer, E. F. (2014). The epistemological grounds of the conceptual profile theory. In: Conceptual Profiles (pp. 35-65). Springer, Dordrecht.

7 El-Hani, C. N., do Amaral, E. M. R., Sepulveda, C. and Mortimer, E. F. (2015). Conceptual profiles: theoretical-methodological grounds and empirical studies. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 167, 15-22.

8 Equilíbrio. (2019). In: Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. [web] Disponível em: https://dicionariodoaurelio.com/equilibrio [Acesso 11 Abril de 2019].

9 Equilíbrio. (2019). In: Grande dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. [web] Disponível em: https://houaiss.uol.com.br/pub/apps/www/v3-3/html/index.php#0 [Acesso 11 Abril de 2019]. Equilíbrio (2019).

10 Equilíbrio. (2019). In: Michaelis Dicionário Escolar da Língua Portuguesa. [web] Disponível em:

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/equil%C3%ADbrio/ [Acesso 11 Abril de 2019].

11 Equilibrium. (2019). In: Cambridge English Dictionary. [web] Disponível em: https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/equilibrium [Acesso 11 Abril de 2019].

12 Equilibrium. (2019). In: Merriam-Webster. [web] Disponível em: https://www.merriam-webster.com/dictionary/equilibrium [Acesso 11 Abril de 2019].

13 Equilibrium. (2019). In: Oxford Dictionary. [web] Disponível em: https://en.oxforddictionaries.com/definition/equilibrium [Acesso 11 Abril de 2019].

14 Hackling, M. W. and Garnett, P. J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. The European Journal of Science Education, 7(2), 205-214.

15 James, W. (1907). Pragmatism's conception of truth. Engagements Across Philosophical Traditions, p. 26.

16 Johnstone, A. (2000). Teaching of chemistry: logical or psychological? Chemistry Education: Research and Practice in Europe, 1(1), 9–15.

17 Júnior, J. G. T. e Silva, R. M. G. (2009). Equilíbrio químico na formação inicial docente. In: Anais do VII ENPEC.

18 Lindauer, M. W. (1962). The evolution of the concept of chemical equilibrium from 1775 to 1923. Journal of Chemical Education, 39(8), 384.

19 Locaylocay, J., van den Berg, E. and Magno, M. (2005). Changes in college students' conceptions of chemical equilibrium. In Research and the Quality of Science Education(pp. 459-470). Springer, Dordrecht.

20 Machado, A. H. e Aragão, R. M. R. (1996). Como estudantes concebem o estado de equilíbrio químico. Química Nova na Escola, n. 4, p. 18-20.

21 Maia, D. J., Canela, M. C., Gazotti, W. A. e Siqueira, A. E. (2005). Chuva ácida: um experimento para introduzir conceitos de equilíbrio e acidez no ensino médio. Química Nova na Escola, (21), 44–26.

22 Martorano, S. A. A. de, Carmo, M. P. do, and Marcondes, M. E. R. (2014). A História da Ciência no Ensino de Química: o ensino e aprendizagem do tema cinética química. História da Ciência e Ensino: construindo interfaces, 9, 19-35.

23 Meneses, F. M. G. de. (2007). Reflexões sobre equívocos na formação de conceitos no estudo do conteúdo equilíbrio químico e o livro didático no ensino médio.

24 Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change?

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

Science e Education, v. 4, n. 3, p. 267-285.

25 Mortimer, E. F., Scott, P. e El-Hani, C. N. (2011). Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais. TED: Tecné, Episteme y Didaxis, n. 30, p. 111-125.

26 Mortimer, E. F. and El-Hani, C. N. (2014). Conceptual profiles: A theory of teaching and learning scientific concepts. (Eds.) Netherlands: Springer.

27 Nascentes, A. (1966). Dicionário etimológico resumido (Vol. 1). Instituto Nacional do Livro, Ministèrio da Educação e Cultura.

28 Nye, M. J. (2008). The Cambridge History of Science, Nye, Vol. 5, Cambridge: Cambridge University Press.

29 Park, K. and Daston, L. (2008). The Cambridge History of Science, Vol. 3, Cambridge: Cambridge University Press, (web).

30 Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. and Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. Science education, 66(2), 211-227.

31 Quilez, J. (2004). Changes in concentration and in partial pressure in Chemical equilibria: student's and teachers misunderstandings. Chemistry Education Research and Practice, 5(3), 281-300.

32 Quílez, J. (2006). Análisis de problemas de selectividad de equilibrio químico: errores y dificultades correspondientes a libros de texto, alumnos y profesores. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, 24(2), 219-240.

33 Quilez, J. (2007). A Historical/Philosophical Foundation for Teaching Chemical Equilibrium. In Makalah disajikan dalam Ninth International History Philosophy & Science Teaching Conference. Calgary/Canada (pp. 24-28).

34 Quílez, J. (2009). From chemical forces to chemical rates: A historical/philosophical foundation for the teaching of chemical equilibrium. Science & Education, 18(9), 1203.

35 Quílez, J. (2017a). Acerca de los Orígenes de la Ley de Equilibrio Químico. In Anales de Química (Vol. 113, No. 3, pp. 191-197).

36 Quílez, J. (2017b). The historical development of the basic ideas concerning chemical equilibrium. ChemTexts, 3(2), 3.

37 Quílez, J. (2018). A historical/epistemological account of the foundation of the key ideas supporting

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

chemical equilibrium theory. Foundations of Chemistry, 1-32.

38 Raviolo, A. y Garritz, A. (2007). Analogías en la enseñanza del equilibrio químico. Educación química, v. 18, n. 1, p. 15-28.

39 Raviolo, A. e Garritz, A. (2008). Analogias no ensino do equilíbrio químico. Química Nova na Escola, 27, 13-25.

40 Raviolo, A. y Martínez, M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. Educación Química, v. 14, n. 3, p. 60-66.

41 Sabadini, E. e Bianchi, J. D. A. (2007). Ensino do conceito de equilíbrio químico: uma breve reflexão. Química Nova na Escola, 25, 10-13.

42 Santos, A. C. M. Z. (2013). Evolução das organizações por meio das abordagens institucional, ecologia das organizações e equilíbrio pontuado. Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria, v. 6, n. 1.

43 Silva, J. R. R. T. e Amaral, E. M. R. (2013). Proposta de um perfil conceitual para substância. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 13(3), 53-72.

44 Silva, J. D. C. S. e Amaral, E. M. R. (2015). Analisando estratégias didáticas para o ensino de equilíbrio químico: o predomínio da aula expositiva. In: Anais do X ENPEC.

45 Silva, J. e Amaral, E. (2017). Uma Análise de Estratégias Didáticas e Padrões de Interação Presentes em Aulas sobre Equilíbrio Químico. Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências, 17(3), 985-1009.

46 Soares, M. H. F. B. (2013). Jogos e Atividades lúdicas para o ensino de Química. Goiânia: Kelps.

47 Tulviste, P. (1991). The cultural-historical development of verbal thinking (M. J. C. Hall, Trans.). New York, NY: Nova Science.

48 Tyson, L., Treagust, D. F. and Bucat, R. B. (1999). The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. Journal of chemical education, 76(4), 554.

49 Vasconcelos, P. H. M., Fábio. A., de Araújo, S. e Matos, W. O. (2016). Contextualização no Ensino do Equilíbrio Químico: Uma Proposta Metodológica. Conexões-Ciência e Tecnologia, 10(4), 71-78.

50 Vygotsky, L. S. (1934/1987). Thinking and speech (N. Minich, Trans.). In R. W. Rieber & A. S. Carton (Eds.), The collected works of L.S. Vygotsky (pp. 39–285). New York, NY: Plenum Press.

51 Vygotsky, L. S. (1978). Mind in society: The development of higher psychological

Please do not adjust margins

Please do not adjust margins

process. Cambridge, MA: Harvard University Press.

52 Wertsch, J. V. (1991). Voices of the mind: A sociocultural approach to mediated action. Cambridge, MA: Harvard University Press.

53 Yan, F. and Talanquer, V. (2015). Students' ideas about how and why chemical reactions happen: mapping the conceptual landscape. International Journal of Science Education, v. 37, n. 18, p. 3066-3092.

This journal is © The Royal Society of Chemistry 20xx

Please do not adjust margins

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO DURANTE A PESQUISA

QUESTIONÁRIO PARA SONDAGEM DE CONHECIMENTOS SOBRE EQUILÍBRIO

Graduando ( ) / Egresso ( ) / Mestrando ( )

Por favor, responda as seguintes perguntas:

01) O que você compreende por equilíbrio?

02) Quais são os tipos de equilíbrio que você conhece?

03) O que você compreende por equilíbrio químico?

04) Como você explica a origem do estado de equilíbrio químico? Em sua resposta, por favor, descreva os fatores e as condições que você considera necessárias para que uma reação alcance esse estado.

05) Com quais palavras-chave você descreveria o conceito de equilíbrio químico?

06) Descreva situações de equilíbrio químico que podem ser observadas em nosso cotidiano.

07) Que áreas da Química você relaciona com equilíbrio químico?

08) Considere a situação-problema a seguir:

O ozônio (O_3) é um gás encontrado na atmosfera, principalmente na estratosfera. Em baixas altitudes ele reage com outros compostos causando o efeito de chuva ácida, prejudicial ao meio ambiente. Já em altitudes elevadas ele compõe a camada protetora localizada ao redor do nosso globo, cuja função é filtrar os raios solares do tipo UV-B. A exposição excessiva a estes raios pode causar sérios problemas, como danos à visão, envelhecimento precoce, supressão do sistema imunológico e câncer de pele. Explique como ocorre quimicamente o processo de manutenção da camada de ozônio.