

O conceito de ácidos e bases na formação inicial de professores de química na perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais
The concept of acids and bases in the initial training of chemistry teachers in the perspective of the Theory of Conceptual Fields
El concepto de ácidos y bases en la formación inicial de profesores de química desde la perspectiva de la Teoría de los Campos Conceptuales

Recebido: 19/12/2020 | Revisado: 26/12/2020 | Aceito: 28/12/2020 | Publicado 28/12/2020

Kariny Mery Araujo Cunha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1975-880X>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: karinymery@gmail.com

Inês Maria de Souza Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8298-7416>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: inesmaria@ufpi.edu.br

Jerino Queiroz Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9356-8716>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: jerino@ufpi.edu.br

Luciana Nobre de Abreu Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3505-9523>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: luciananobre@ufpi.edu.br

Resumo

Neste trabalho são apresentados resultados parciais de uma pesquisa que traz a análise de aspectos da formação de professores de química referentes às noções de ensinar e aprender com base na Teoria dos Campos conceituais de Gerard Vergnaud, a qual tem enfoque no professor reflexivo e na construção conceitual. Em tais discussões buscou-se refletir sobre a perspectiva do “aprender a ensinar” com base no conhecimento do “aprender a aprender”, considerando que quando professores se posicionam também como aprendizes, eles aprendem como aprendem, o que é primordial para ensinar de forma significativa. Neste recorte da

pesquisa, foram discutidos os resultados da resolução de questões sobre conhecimentos prévios e de problemas de química sobre o conteúdo de ácidos e bases por estudantes de licenciatura em química da Universidade Federal do Piauí. Nas respostas dos estudantes, foi possível verificar diferentes indicadores de invariantes operatórios, para os quais foram utilizados modelos teóricos na fundamentação de suas justificativas, representando o formalismo científico, no entanto, suas explicações acabaram refletindo erros conceituais que podem estar atuando como obstáculos epistemológicos. Esta pesquisa ressalta a relevância da identificação de teoremas-em-ação para a elucidação, reflexão e posterior discussão relativas a problemas de conceitualização no ensino do conteúdo de ácidos e bases, mostrando que o professor pode contribuir para a aprendizagem do estudante, direcionando-o à ampliação e/ou modificação de teoremas-em-ação que podem atuar como obstáculos na aprendizagem de conceitos.

Palavras-chave: Ácidos e bases; Ensino-aprendizagem; Química; Teoria dos Campos Conceituais; Teoremas-em-ação.

Abstract

This paper presents the partial results of research that analyses the aspects of the training of chemistry teachers referred to notions of teaching and learning, based on the Theory of Conceptual Fields by Gerard Vergnaud, which has its focus on the reflective teaching and the conceptual construction. In this stage of the research, it was discussed the results of solving questions about previous knowledge and chemistry problems about acids and bases by students of a teacher training course in chemistry. The discussion was focused on the perspective of “learn how to teach” based on the knowledge of “learn how to learn”, considering that when teachers pose themselves as students, they learn how to learn, which is essential to teach in a significant way. In the students’ answers, it was possible to identify different indicators of operational invariant, to which theoretical models were used in the rationale of their justification, representing the scientific formality, however, their explanations ended up reflecting conceptual mistakes that can be acting as epistemological obstacles. This research highlights the relevance of the identification of theorems-in-action to resolve, reflect and discuss the problems of conceptualization in the teaching of acids and bases content, showing that the teacher can contribute with the students’ learning, directing them to the expansion and/or modification of theorems-in-action that might act as obstacles in the learning of concepts.

Keywords: Acids and bases; Teaching-learning; Chemistry; Theory of Conceptual Fields; Theorems-in-action.

Resumen

En este trabajo, resultados parciales de una investigación que presenta el análisis de aspectos de la formación de profesores de química en torno a las nociones de enseñanza y aprendizaje a partir de la Teoría de los Campos Conceptuales de Gerard Vergnaud, que se centra en el profesor reflexivo y la construcción conceptual. En dichas discusiones, se buscó reflexionar sobre la perspectiva de “aprender a enseñar” a partir del conocimiento de “aprender a aprender”, considerando que cuando los docentes también se posicionan como aprendices, aprenden como aprenden, lo cual es fundamental para enseñar en un significativo. En este extracto de la investigación, se discutieron los resultados de la resolución de preguntas sobre conocimientos previos y problemas de química sobre el contenido de ácidos y bases por parte de estudiantes de pregrado en química de la Universidad Federal de Piauí. En las respuestas de los estudiantes fue posible verificar diferentes indicadores de invariantes operativos, para lo cual se utilizaron modelos teóricos en la justificación de sus justificaciones, representando el formalismo científico, sin embargo, sus explicaciones terminaron reflejando errores conceptuales que pueden estar actuando como obstáculos epistemológicos. Esta investigación destaca la relevancia de la identificación de teoremas-en-acción para la elucidación, reflexión y discusión posterior relacionada con problemas de conceptualización en la enseñanza del contenido de ácidos y bases, mostrando que el docente puede contribuir al aprendizaje del alumno, dirigiéndolo a la expansión y / o modificación de teoremas en acción que pueden actuar como obstáculos en el aprendizaje de conceptos.

Palabras clave: Ácidos y bases; Enseñanza-aprendizaje; Química; Teoría de los Campos Conceptuales; Teoremas-en-acción.

1. Introdução

Nos últimos anos, pesquisas na área de educação em ciências têm sido realizadas sobre o lema pedagógico “aprender a aprender”, isto é, sobre os sistemas cognitivos relacionados aos processos de ensino e aprendizagem. Segundo Tauceda e Del Pino (2014), “o ensinar e o aprender estão intimamente relacionados” (p.256), corroborando a afirmação de Vergnaud, Rogalski e Artique (1989) de que, para o professor ensinar, é necessário que ele conheça de que forma o aluno compreende determinado conteúdo, ou seja, o professor deve reconhecer

para “que, como, quando e por que” ensinar determinados conteúdos (Magina, 2005, p.1). Assim, o ensinar e o aprender fazem parte do mesmo universo pedagógico (Tauceda, & Del Pino, 2014), os quais devem ser considerados de maneira mútua para que o processo educacional seja favorecido.

O contexto social propicia ao professor o desenvolvimento do aprender a aprender, por meio de situações problematizadoras que possibilitam a ele levantar uma série de questionamentos acerca de sua prática de ensino (Tauceda, 2014). Schön (1992) aponta que é diante disso que o professor desenvolve sua formação.

Nesse cenário, o professor passa a analisar suas competências e sua função como mediador de conhecimentos; assim, é mediante sua formação que, além de obter novos conhecimentos, deve ser capaz de articulá-los a fim de propor soluções para dificuldades que surgem em sua prática (Fernandes, & D’Ávila, 2016).

Nesse sentido, a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) é um importante referencial por focar na prática educativa, na qual o professor, por meio da ação-reflexiva, é capaz de considerar suas limitações e, se necessário, reordenar seus conhecimentos para melhor desempenhar sua ação docente, pois, com base nesta teoria, o ensino é centrado no aluno, e o professor não apenas ensina, mas atua como um mediador e é responsável por elaborar situações dialógicas, em que o aluno possa expor seus conhecimentos prévios, os quais nortearão sua prática (Vergnaud, 2013a).

Nesse contexto, o professor atua como mediador na promoção de diferentes situações, para que o aluno possa aplicar os conceitos estudados e reconhecer seus próprios avanços e retrocessos na aprendizagem, pois, nesse processo, é possível inferir os invariantes operatórios (conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação), que se constituem à parte dos conhecimentos do indivíduo durante a resolução das situações para a verificação do nível de apropriação de certo campo conceitual (Vergnaud, 2009).

A apresentação dos estudantes a situações, assim como a explicitação de seu “conteúdo cognitivo”, possibilita a análise de seu progresso dentro de um campo conceitual, além de identificar dificuldades e inferir invariantes operatórios implícitos que podem se apresentar como obstáculo à aprendizagem conceitual, impedindo esse progresso (Grings, Caballero, & Moreira, 2008). Desse modo, a explicitação dos significados atribuídos a conceitos existentes em um dado campo conceitual permite verificar invariantes operatórios cientificamente corretos ou não. Nesse segmento, o conhecimento já existente é essencial para o desenvolvimento cognitivo. Como aponta Ausubel (citado por Moreira, 2012), “o fator mais importante que influencia na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe” (p.46). Dessa

maneira, explicitar o conhecimento que o aluno possui e verificar as dificuldades apresentadas nos conhecimentos prévios é favorável ao desenvolvimento do estudante em um campo conceitual.

De modo amplo, o enfoque da TCC visa explorar o desenvolvimento e a aprendizagem de competências complexas dos estudantes, auxiliando o professor na compreensão dos processos e práticas de ensino, as quais proporcionam o desenrolar da aprendizagem (Santana, 2015; Vergnaud, 1990).

Portanto, neste estudo teve-se por objetivo verificar, com base na Teoria dos Campos Conceituais de Gerard Vergnaud, os possíveis indicadores de invariantes operatórios (teoremas-em-ação) presentes nas respostas de licenciandos em química a questões de conhecimentos prévios e a problemas sobre ácidos e bases, com o intuito de investigar a influência desses conhecimentos no desenvolvimento da conceitualização dos envolvidos, ou seja, no processo de “aprender a aprender”. Parte-se da hipótese de que estimular esse processo favorece discussões na perspectiva do “aprender a ensinar”, considerando que quando professores se posicionam também como aprendizes, do mesmo modo eles aprendem como aprendem, o que é primordial para ensinar de forma significativa.

2. Teoria dos Campos Conceituais

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC) é uma teoria cognitivista, neopiagetiana, cujo foco está no estudo da conceitualização do real, que é o núcleo do desenvolvimento cognitivo e do aprendizado de competências complexas, dependente da resolução de situações relacionadas ao conteúdo presente em um “campo de conceitos” distintos entre si, porém correlacionados, buscando compreender as filiações e rupturas na formação do conhecimento (Moreira, 2002, 2009; Vergnaud, 2013b, 2017a).

Vergnaud explica que quanto mais o sujeito é confrontado com situações (e mais complexas), mais ele se desenvolve e torna-se capaz de dominar tais conceitos (Fanaro, Otero, & Moreira, 2009). Por essa razão, Moreira (2009) explica que o foco da teoria de Vergnaud está no estudo das operações lógicas gerais e das estruturas gerais do pensamento para o estudo do funcionamento cognitivo do “sujeito-em-situação” (p.37).

Ele parte do princípio de que o conhecimento organiza-se em campos conceituais e, para que o sujeito obtenha seu domínio, leva tempo, pois isso ocorre por meio de experiências, da maturidade e da aprendizagem (Vergnaud, 1989). Assim, um campo conceitual é formado por diferentes conceitos “definidos socialmente e que são aplicados em

diversos eventos por um indivíduo” (Cedran, & Kiouranis, 2019, p.65), visto que um conceito por si só não possui significado; é por meio dessas situações a resolver que ele adquire sentido.

Com isso, entende-se por conceito um “tríplice conjunto distinto” de elementos, porém dependentes, que seriam: S, conjunto de situações que tornam o conceito significativo; I, conjunto de invariantes operatórios que instituem o conceito, estruturam as formas de organização do pensamento e que serão evocados nas situações; e L, conjunto de representações linguísticas e simbólicas que são usadas para retratar o conceito, suas propriedades e as situações ao qual estão relacionados (Moreira, 2002).

A relação entre os componentes desse grupo se estabelece na implicação de que os invariantes dependem das situações e do conjunto de esquemas utilizados pelo sujeito em situação, isto é, os três devem ser estudados de modo simultâneo e “um único conceito não se refere a um só tipo de situação e uma única situação não pode ser analisada com um só conceito” (Moreira, 2002, p.10).

Na perspectiva da TCC, é nos esquemas que estão contidos os conhecimentos-em-ação do estudante, isto é, os elementos cognitivos que tornam a ação do estudante operatória. Um esquema contém: invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação); metas e antecipações (prováveis finalidades e direções da ação); regras de ação (permitem a criação de um conjunto de ações); inferências ou raciocínio (possibilidade de ponderar sobre a situação com base nos demais componentes do esquema) (Rocha, & Basso, 2017; Vergnaud, 2013b).

Entre os elementos citados, apenas os invariantes operatórios são ditos “indispensáveis” na associação entre a teoria e a prática, ou seja, a relação entre o conhecimento-em-ação e a situação a qual o estudante foi submetido (Greca, & Moreira, 2002; Vergnaud, 1998). Segundo Vergnaud (1982), um teorema-em-ação é uma proposição que se supõe verdadeira pelo indivíduo, qual pode estar certo ou errado cientificamente. Um conceito-em-ação é um objeto, um predicado ou uma categoria de pensamento considerado pertinente ou não. Nesse sentido, há uma relação dialética entre os conceitos e teoremas-em-ação, visto que os conceitos estão contidos nos teoremas e os teoremas são hipóteses que atribuem conteúdos aos conceitos (Greca e Moreira, 2002). Por exemplo, embora se conheçam os conceitos-em-ação pressão, volume e temperatura, considerar a relação existente “entre aumento da pressão, quando se diminui o volume de um recipiente, com temperatura constante” depende de um teorema-em-ação (Cedran, & Kiouranis, 2019, p.74).

Vale destacar que, nas concepções prévias dos alunos, há conceitos e teoremas-em-ação, os quais não são considerados verdadeiros teoremas e conceitos científicos, contudo,

podem se tornar por meio da explicitação promovida pela ação do professor em fornecer meios para que tais concepções sejam, além de explicitadas, negociadas e transformadas em conceitos científicos (Antonello, Garcia, Santarosa, Baggio, & Lopes, 2018). Assim, os conhecimentos prévios dos estudantes não devem ser desconsiderados nos processos de ensino e aprendizagem, visto que os mesmos são considerados por Ausubel “como o fator isolado mais importante na determinação do processo de ensino” (Alegro, 2008, p.15).

Partindo desse pressuposto, muitas das dificuldades dos estudantes na obtenção de conhecimentos científicos podem estar associadas a esses conhecimentos-em-ação que, por serem implícitos, e não terem sido incentivados a explicitá-los, acabam se tornando obstáculos à obtenção de conceitos científicos (Parisoto, Moreira, & Moro, 2013). Krey (2009) ressalta que tanto os invariantes operatórios como os esquemas geralmente são usados pelos indivíduos de modo inconsciente, por essa razão, compete ao professor a função de mediar e fornecer meios para a explicitação deste conhecimento.

A partir de uma revisão na literatura realizada em 58 periódicos, 35 nacionais e 23 internacionais da área de ensino de ciências, no período de 2008 a 2018, e nas atas do VI ao XI Encontro Nacional de Educação em Ciências (ENPEC), foi possível localizar 66 artigos tratando da temática, sendo que apenas oito deles foram voltados ao ensino de química (Cunha, & Ferreira, 2020). Pode-se considerar esta uma quantidade escassa com relação às demais áreas das ciências, tendo em vista a relevância da implementação de metodologias baseadas na construção de conceitos como a proposta da TCC, o que pode contribuir significativamente para os processos de ensino e aprendizagem desta área das ciências naturais, a qual exige a utilização do raciocínio abstrato pelos estudantes, o que dificulta a sua compreensão (Santos, 2009).

A busca aponta, ainda, uma tendência da temática no ensino superior, em virtude de suas contribuições para o desenvolvimento cognitivo do aprendizado de competências complexas dos alunos e da busca de compreensão das filiações e rupturas na formação do conhecimento imprescindíveis especialmente a esse nível de ensino (Moreira, 2002, 2009; Santana, Alves, & Nunes, 2015; Vergnaud, 2017a).

3. Procedimentos Metodológicos

Este trabalho trata-se de um recorte de uma pesquisa mais ampla desenvolvida pelas autoras, a qual se apresenta como uma investigação qualitativa, por ter como característica a possibilidade de aplicação em diferentes pesquisas, sendo que cada uma “implica métodos

específicos para avaliar a possibilidade da sua realização, bem como os procedimentos a adotar” (Bogdan, & Biklen, 1999, p.90).

A pesquisa teve como enfoque promover atividades a professores de química em formação inicial, com vistas à formação reflexiva com a base cognitivista e construtivista da Teoria dos Campos Conceituais. Para tanto, foram realizados encontros semanais com licenciandos em Química matriculados nas disciplinas de Estágio Supervisionado III e IV na Universidade Federal do Piauí ao longo do ano letivo de 2019, dos quais participaram 8 estudantes. O projeto desta pesquisa foi aprovado no Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal do Piauí, cadastrado na Plataforma Brasil, sob a identificação CAAE: 11341219.7.0000.5214.

No primeiro semestre de aplicação da proposta foi aplicado um questionário de coleta dos conhecimentos prévios dos alunos acerca dos conceitos de ácidos e bases. Após essa etapa, foram apresentadas duas situações-problema envolvendo os mesmos conceitos, para as quais solicitamos aos alunos sua resolução por escrito.

Subsequentemente, no segundo semestre, os licenciandos foram submetidos a um processo de formação fundamentado na TCC no qual foram tratados conteúdos relativos à prática docente com enfoque no lema pedagógico “aprender a aprender”, com a finalidade de promover uma formação reflexiva, centralizada na construção do conhecimento do sujeito. Vale salientar que nesse período as respostas dadas pelos licenciandos relativas a seus conhecimentos prévios e aos procedimentos adotados para a resolução dos problemas foram discutidas e relacionadas aos aspectos da TCC, como conceitos e teoremas-em-ação e os efeitos em sua prática de ensino.

No presente manuscrito, é apresentada a análise e discussão dos dados referentes aos conhecimentos prévios dos licenciandos colhidos no questionário elaborado com esse propósito (especialmente as duas primeiras questões) e das soluções apresentadas por eles para os problemas propostos. O conteúdo de ácidos e bases envolve uma gama de conceitos e fundamentos interligados, que implicam, por meio de sua compreensão, o domínio desse conteúdo. Pensando nisso, os resultados foram avaliados por meio da TCC na identificação das concepções e do processo de conceitualização de licenciandos ao se depararem com situações problemáticas abordando o conteúdo. Vale destacar que as resoluções ocorreram individualmente e sem acesso a materiais para consulta. Foram atribuídos nomes fictícios aos alunos, a fim de resguardar sua identidade e suas respostas foram transcritas tal como constavam nos questionários.

4. Resultados e Discussão

Com base nos preceitos da TCC, partimos da hipótese de que confrontar os alunos com diferentes situações envolvendo o mesmo campo conceitual e buscar reconhecer indícios de invariantes operatórios pode tornar a sua aprendizagem mais propensa à construção de conceitos de maneira significativa.

Ao buscar explicitar os conhecimentos contidos nos invariantes operatórios, o aluno possibilita ao professor o acompanhamento e a análise de sua aprendizagem, além de ter a oportunidade de realizar uma autoavaliação sobre a mesma, bem como reconhecer lacunas e equívocos nela presentes, o que permite uma posterior adequação ao que é aceito em termos científicos.

Mediante a explicitação desses conhecimentos, pode-se identificar possíveis indicadores de invariantes operatórios – possíveis indicadores porque a identificação de invariantes operatórios requer mais tempo e maior variedade de situações (Raupp, & Moreira, 2009) – contidos nas respostas dos licenciandos, permitindo verificar sua conformidade com o conhecimento científico.

Para tanto, inicialmente serão apresentadas as discussões relativas às respostas para as duas primeiras questões constantes no questionário de conhecimentos prévios, relativas ao seu entendimento sobre ácidos e bases e, posteriormente, serão explanadas as respostas dadas aos dois problemas propostos concernentes ao mesmo assunto, ambas analisadas à luz da TCC, dando enfoque especialmente aos possíveis indicadores de invariantes operatórios.

A partir das respostas dos alunos, foram elaboradas diferentes categorias para a caracterização dessas respostas, bem como para a organização das discussões, as quais são exibidas no Quadro 1.

Quadro 1– Categorias elaboradas a partir das respostas dos licenciandos para as questões 1 e 2 do questionário de conhecimentos prévios e os problemas 1 e 2, ambos sobre ácidos e bases

CATEGORIAS			
<i>Questão 1</i>	<i>Questão 2</i>	<i>Problema 1</i>	<i>Problema 2</i>
<i>Teorias</i>	<i>Hidroxila</i>	<i>Água e base</i>	<i>Transformação da metilamina</i>
<i>Hidrogênio/próton</i>	<i>pH</i>	<i>Neutralização</i>	<i>Aderência do ácido à metilamina</i>
<i>pH</i>	<i>Neutralização</i>	<i>Não respondeu</i>	<i>Neutralização</i>
<i>Corrosão</i>	<i>Teorias</i>		

Fonte: Autores (2019).

Conforme observado no Quadro 1, foram elaboradas categorias a partir do teor das respostas dadas pelos estudantes às questões e aos problemas, que se baseou na exposição das teorias que fundamentam o conteúdo, bem como na descrição das características e processos envolvidos nas reações entre as espécies com comportamento ácido e básico.

Além disso, foram discutidos os possíveis indicadores de teoremas-em-ação identificados nas respostas e seus reflexos nas explicações dos estudantes. Os possíveis indicadores de teoremas-em-ação aqui identificados tratam-se do modo como os estudantes utilizaram os conceitos para fundamentar suas respostas (Grings, Caballero, & Moreira, 2008).

4.1 Conhecimentos prévios

Questão 1: O que você entende por ácido?

O conteúdo de ácidos e bases é abordado segundo três definições principais em sala de aula e em manuais e livros didáticos, as quais são oriundas dos modelos teóricos de Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis. Desse modo, algumas respostas foram enquadradas na categoria *Teoria*, a qual remete à utilização dessas teorias pelos alunos para fundamentar suas explicações:

Segundo Arrhenius, ácido é uma substância que libera H^+ numa solução. Já segundo Brønsted-Lowry uma substância é ácida quando é doadora de prótons. Segundo Lewis, ácidos são uma substância receptora de elétrons. A Teoria de Brønsted-Lowry engloba a teoria de Arrhenius e a definição de Lewis engloba as duas. Desse modo, a definição de Lewis é considerada a mais completa (Cláudio).

Na resposta foi possível identificar três tipos de possíveis indicadores de teoremas-em-ação: “*libera H^+ em meio aquoso*”, “*doa prótons*” e “*recebe elétrons*”, os quais denotam que o aluno apresenta sua concepção de ácido e base baseada nas três teorias. Destaca-se que o aluno Cláudio foi o único a se apropriar de mais de uma definição para fundamentar sua resposta. Contudo, essa resposta revela conceitos bem próximos daqueles presentes em livros didáticos e na fala de professores, não sendo incomum ocorrer nos diferentes níveis de ensino (Figueira, 2010). Percebe-se, ainda, que o aluno deu maior ênfase à descrição do que, de fato, à explicação da sua percepção sobre ácido. Ele forneceu uma informação sugestiva mostrando ter memorizado de forma arbitrária as definições, o que possibilita a ocorrência de diferentes equívocos. Isso porque a automatização de conceitos deve ser consciente, pois, de modo contrário, estes podem se tornar insignificantes (Kikuchi, 2012).

Além disso, o possível indicador de teorema-em-ação “*libera H⁺ em meio aquoso*”, referente ao modelo teórico de Arrhenius, revela, de modo semelhante ao obtido por Silva et al. (2014), o emprego do verbo “liberar” para explicar o conceito de ácido. Tal concepção aponta para uma compreensão errônea que poderia levar seus alunos a crerem que, se há liberação de H⁺, é porque a espécie em questão tem em sua fórmula o hidrogênio. Esse fato nem sempre ocorre, pois, assim, diferentes substâncias não poderiam ser caracterizadas como ácidas por essa definição, como, por exemplo, o Al₂(SO₄)₃ (Lima, & Moradillo, 2019).

Essa resposta evidencia a utilização de um possível invariante operatório pelo aluno, que provavelmente esteja atuando como obstáculo epistemológico substancialista, o qual comumente se manifesta na aprendizagem da química e apresenta-se como a atribuição “à substância [de] qualidades diversas, tanto a qualidade superficial como a qualidade profunda” e dificulta a aprendizagem e o raciocínio de novos conhecimentos (Silva et al., 2014, p.263).

Esse possível indicador de teorema-em-ação foi também abordado em outras respostas, pertencentes à categoria *Hidrogênio/próton*, representada na resposta da aluna Débora de que “*ácido é toda substância que no meio aquoso libera H⁺*”. Tais percepções mostram-se limitadas com relação ao comportamento ácido-base, tendo nelas enraizadas concepções prévias que os estudantes adquirem no ensino médio e, se não discutidas e elucidadas, podem dificultar a aprendizagem dos conteúdos conceituais durante o ensino superior e se refletir durante sua prática de ensino. A compreensão do campo conceitual de ácidos e bases é repleta de concepções prévias (Alvarado, Garritz, Cañada, & Mellado, 2015) adquiridas, geralmente, no decorrer dos anos escolares, as quais são consideradas por Vergnaud como “precursores” dos novos conhecimentos a serem obtidos. Daí surge a necessidade de o professor identificar e direcionar essas concepções, pois, nelas estão presentes os teoremas e conceitos-em-ação, os quais não são verdadeiros teoremas e conceitos científicos, mas podem evoluir para eles. Embora se admita que há uma grande lacuna entre eles, reforça-se a relevância do papel do professor no tratamento desses conhecimentos. Para o autor, nos conhecimentos prévios estão contidos os conhecimentos em ação, geralmente implícitos, que podem evoluir ao longo do processo educativo e tornarem-se conhecimentos científicos explícitos (Grings, Caballero, & Moreira, 2008).

Adicionalmente, essa concepção, muitas vezes proveniente dos livros didáticos de química, de que o hidrogênio deva ser componente da substância que aumenta a concentração de H⁺, causa conflitos, pois, leva os estudantes a crerem que o aumento do caráter ácido está relacionado a isso e não às constantes de ionização (K_a) desses compostos, como é o caso do H₃PO₄ e do HCl (Silva, & Amaral, 2014). Ou seja, embora o H₃PO₄ presente em sua

composição três átomos de hidrogênio, é um ácido mais fraco do que o HCl, por causa das diferentes constantes de ionização desses compostos (Boz, 2009). Isto sinaliza a necessidade de se trabalhar, na formação inicial, situações que auxiliem os professores na construção de conceitos científicos, os quais serão responsáveis em ensiná-los a seus alunos.

A expressão “*Apresenta concentrações de H^+* ” foi outro possível indicador de teorema-em-ação identificado nessa categoria, referente à resposta da aluna Raquel: “*Substância que apresenta concentrações de $[H^+]$* ”. Percebe-se que a estudante apresenta uma resposta incompleta com relação à teoria de Arrhenius, embora mencione o próton (H^+), pois, desconsidera o meio aquoso, sugerindo uma explicação incoerente sobre o conceito, uma vez que a teoria se fundamenta na explicação de fenômenos ácidos e básicos em sistemas aquosos (Souza, & Silva, 2018). Esse fragmento demonstra que o indicador de possível teorema-em-ação pode se apresentar como um obstáculo epistemológico com relação à transição de conceitos precursores para novos conceitos. Assim, tais concepções podem conduzir a erros, caso não sejam submetidas, nesse caso, à ação mediadora do professor, a qual é indispensável, visto que o professor é responsável em promover situações problematizadoras para que tais concepções sejam evidenciadas e contornadas, quando necessário (Vergnaud, 2017b).

Em outra resposta da mesma categoria, o aluno José deixa subentendida a ideia de “*liberação de próton*”, utilizando o íon hidrônio para representar um dos produtos do processo descrito:

Substâncias químicas que em estado aquoso sofrem o processo de dissociação iônica, onde um destes íons seria o H_3O^+ responsável pela acidez da substância em questão. Tais substâncias possuem pH abaixo de 7 (José).

Nessa resposta, o aluno também se apropria da teoria da dissociação eletrolítica de Arrhenius, buscando explicar características ácidas e básicas decorrentes do comportamento dos íons hidrogênio e hidróxido em sistemas aquosos, isto é, a reação entre a espécie química e a água (Souza, & Silva, 2018). No entanto, ao se referir ao processo de formação de íons, o define como “*dissociação iônica*”, sendo o processo de ionização em ácidos o que de fato ocorre. Tal equívoco pode ser resultado da não explicitação de sua concepção, que pode estar atuando como um obstáculo na compreensão dos aspectos envolvidos tanto no processo de dissociação quanto na ionização.

Como descrevem Silva, Eichler, Salgado e Del Pino (2008), em diferentes materiais didáticos usa-se os termos “dissociação” e “ionização” como sinônimos para explicar reações

ácidas e/ou básicas em meio aquoso. Os autores citam diferentes trabalhos em que foram feitas tais observações, como, por exemplo, o de Mahan (1995), no qual o autor explica que a força dos ácidos está atrelada ao seu grau de dissociação, indicando que quanto maior for esse grau, mais forte será o ácido (Silva et al., 2008).

Sobre tal questão, Schultz (1997) coloca que “os termos ionização e constante de ionização sejam utilizados exclusivamente nos contextos em que os íons são formados a partir de espécies não-iônicas” e “o termo dissociação deve ser usado apenas no contexto de espécies, separando seus componentes” (p. 898). Diante disso, o emprego do termo “ionização” seria mais adequado para a explicação da formação de íons na questão. Ainda nesta resposta, o aluno buscou atribuir um fator para a acidez da substância, apontando o íon hidrônio como responsável por essa característica.

Arrhenius (1903) propôs a teoria da dissociação eletrolítica e considerou que a água sofre o processo de autoionização descrito pela equação $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$. Nesse equilíbrio, verifica-se a relação proposta pela constante da água, $K_w = 1,0 \times 10^{-14} = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$, onde $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1,0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$, logo, em água pura, $\text{pH} = \text{pOH} = 7$ (Silva, Nascimento, Cunha, & Bueno Filho, 2018). Assim, as concentrações de H^+ e OH^- produzidas nesse processo não atribuem caráter ácido e nem básico ao meio. No entanto, quando se adiciona substância que aumente a concentração desses íons, o meio passará a ser ácido se houver aumento da concentração de H^+ e básico se houver aumento da concentração de OH^- .

Como assinalado por Vergnaud, o domínio de um campo conceitual ocorre de modo gradual, o qual pode ser favorecido pela exposição do estudante a diferentes situações que abordem o campo conceitual que se deseja trabalhar e sobre as quais poderão considerar se suas concepções conceituais são suficientes para resolvê-las. Com relação ao conteúdo de ácidos e bases, este é considerado um dos tópicos mais “densos” do currículo da química, uma vez que seu entendimento baseia-se na compreensão de diferentes conceitos distintos, como teoria cinética, natureza e composição das soluções, estrutura atômica, ionização, ligação covalente, símbolos, fórmulas e equações, teoria do equilíbrio, entre outros (Sheppard, 2006), que compõem esse “campo conceitual”. Nesta resposta, o aluno apresenta dificuldade em um dos componentes do campo de conceitos, o que pode influenciar a efetiva aprendizagem desse conteúdo, reforçando o que já foi mencionado.

O pH também foi identificado nas respostas da categoria com esse nome, nos indicadores de teoremas-em-ação “*apresentam acidez de 0 a 7*” e “*substâncias com pH que vai de 0 a 6*”:

São substâncias químicas que apresentam acidez de 0 a 7 na faixa de pH, dependendo do assunto ou pesquisador, ácido é uma substância que doa elétrons ou é uma substância que recebe elétrons (Paulo).

Ácidos são substâncias com pH que vão de 0 a 6, podendo ser uma substância que em contato com algum objeto cause corrosão (Pedro).

Nos possíveis indicadores de teoremas-em-ação dessas respostas, verificamos um erro conceitual indicando que não há um esclarecimento nas ideias dos alunos de que os valores de pH abaixo de 7 representam substâncias com caráter ácido. A afirmação “*apresentam acidez de 0 a 7*” inclui o valor sete ainda como meio ácido, e a afirmação “*substâncias com pH que vão de 0 a 6*” desconsidera os valores entre 6 e 7. Se assim fosse, as substâncias com pH 6,5 não seriam classificadas como ácidas.

Na categoria *Corrosão* foi incluída a resposta que relaciona o poder corrosivo dos ácidos, a qual apresenta o possível indicador de teorema-em-ação “*são corrosivos, queimam a pele*”:

Ácido - ácido clorídrico – são substâncias que em solução aquosa liberam H^+ , são corrosivos, queimam a pele, são muito perigosos (Maria).

O possível indicador de teorema-em-ação observado nesta resposta se baseia na concepção de um fenômeno associado aos sentidos, “*queima a pele*”. Silva e Amaral (2014) identificaram em seu trabalho que as propriedades das substâncias são importantes porque permitem identificar os ácidos a partir de suas propriedades organolépticas, como o paladar, e danos que podem gerar em materiais e/ou pele. Contudo, tais concepções podem originar generalizações equivocadas, como observado na pesquisa de Domínguez-Amaya (2019), na qual os estudantes descreveram que substâncias com comportamento ácido não podem ser incluídas na alimentação humana. Tais indicadores, portanto, remetem à ideia de que os conhecimentos foram construídos a partir do senso comum e esses conhecimentos, quando não confrontados, explicados ou mesmo criticados, podem ocasionar a existência de obstáculos que dificultarão a constituição do conhecimento científico (Silva et al., 2014).

Ademais, vale destacar que o processo de transposição didática apresenta um papel fundamental no processo ensino-aprendizagem, pois é por meio dele que as noções científicas (conhecimento acadêmico) tornam-se acessíveis aos alunos, ou seja, são transformadas “a partir de um saber de referência que é, em geral, o saber dos especialistas da disciplina (o saber sábio)” (Almouloud, 2011, p. 191).

Contudo, é nesse processo que podem ser originados diferentes problemas conceituais. Para isso, o professor deve atentar para os prováveis equívocos existentes em muitos manuais utilizados, os quais podem estar carregados de concepções de seus autores, gerando distintos modos de abordagem do conteúdo, os quais são passíveis de incoerências, inclusive de excessivas simplificações feitas, muitas vezes, na tentativa de torná-los o mais próximo possível do seu público (Souza, Santana, Silva, Silva, & Simões Neto, 2016). Portanto, o professor deve reconhecer a relevância da explicação dos conteúdos neles contidos, a qual é resultado da modificação do saber e realizada pela transposição didática.

Schuhmacher, Alves Filho e Schuhmacher (2017) explicam, com base em Brousseau, que dado obstáculo epistemológico resulta de conhecimentos adquiridos de modo errôneo, carregados de princípios incoerentes. Além dos epistemológicos, Brousseau destaca a existência possível de obstáculos didáticos, cabíveis para complementar essa discussão, que têm origem no excesso de simplificações ou restrições de conceitos (abstratos ou complexos) feitos na tentativa de aproximá-los do aluno (Figueira, 2010).

Questão 2: O que você entende por base?

Na categoria *Hidroxila* foram agrupadas respostas em que os estudantes correlacionaram as bases à hidroxila (OH^-), como ilustram os trechos a seguir:

Substâncias alcalinas constituídas pelo íon OH^- (hidróxido), que possuem pH acima de 7. Tais substâncias, dependendo da sua origem, podem ser mais ou menos básicas e/ou irritantes (José).

Substância que no meio aquoso libera OH^- , conceito básico, mas que ajuda muito no entendimento (João).

Nessas respostas ficam evidenciados os seguintes indicadores de teoremas-em-ação: “*apresenta concentrações de $[\text{OH}^-]$ ”*, “*constituídas pelo íon OH^- ”*, “*possuem pH acima de 7*” e “*no meio aquoso libera OH^- ”*. Esses indicadores de teoremas-em-ação refletem que os aspectos constitucionais identificados acabam passando a ser atribuídos aos comportamentais (Liso, & Torres, 2002).

O indicador “*no meio aquoso libera OH^- ”* remete à aproximação superficial ao modelo teórico de Arrhenius para bases, visto que o aluno se refere à solução aquosa em sua resposta, como verificado em outras descrições, cujo modelo foi o mais abordado nas tentativas de explicação. Verifica-se que o termo “liberar” foi também utilizado, como

discutido outrora, o qual pode representar um obstáculo para a compreensão do conteúdo, levando-os a acreditarem que somente substâncias contendo OH podem ser classificadas como tendo o comportamento básico. Tal concepção também pode ser inferida no indicador de teorema-em-ação “*constituídas pelo íon OH* ”.

A categoria pH traz respostas em que os estudantes classificam as bases de acordo com a escala de pH :

São substâncias com um pH que varia de 8 a 14 (Pedro).

Base é uma substância na escala de 7 a 14, são substâncias que podem também agredir a pele com ácidos, são elementos que recebem ou doam elétrons (Paulo).

Observa-se a presença de dois indicadores de teoremas-em-ação com a mesma intenção de explicação, no entanto, com visões distintas: “*substâncias com um pH que varia de 8 a 14*” e “*substância na escala de 7 a 14*”. Sobre esta última foi possível perceber, ainda, outros indicadores: “*substâncias que podem também agredir a pele com ácidos*” e “*são elementos que recebem ou doam elétrons*”. Tais indicadores apontam para o mesmo equívoco conceitual em que se procurou explicar o conceito de ácido a partir da escala de pH , restringindo a classificação das substâncias como ácidas. Nessas respostas, o aluno Pedro não incluiu valores superiores a sete para substâncias básicas e o aluno Paulo atribuiu o valor sete, valor de referência de pH neutro.

Verifica-se, ainda, que a escala de pH foi utilizada nas respostas, porém, os alunos não apresentaram uma explicação apropriada ao questionamento, o que possivelmente pode estar relacionado com a memorização arbitrária, sem a devida interpretação (Silva et al., 2008). Além disso, há também uma confusão entre as definições de Brønsted-Lowry e Lewis, quando é acionado o indicador de invariante operatório “*recebem ou doam elétrons*”, isto é, na definição de Brønsted-Lowry uma substância tem comportamento básico quando recebe prótons e, na de Lewis, quando doa pares de elétrons.

Gama e Afonso (2006) demonstram em seu trabalho que a escala de pH foi proposta inicialmente por Hans Friedenthal em 1904, o qual propôs a utilização da concentração do íon hidrogênio para caracterizar soluções, indicando, ainda, que as soluções alcalinas poderiam ser caracterizadas, com relação à concentração do íon hidrogênio, contanto que fossem equivalentes a $1 \times 10^{-14}/C_{H^+}$, ou seja, $[H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$, sendo posteriormente estudada por Sören P. T. Sørensen, em 1909, sugeriu que a acidez poderia ser expressa utilizando o logaritmo negativo da concentração do íon hidrogênio: $pH = -\log [H^+]$, no qual o conceito de

pH está relacionado às soluções aquosas e diluídas. Dessa forma, esses estudos complementares permitiram a possibilidade de calcular a basicidade de um meio (pOH), por meio da expressão $\text{pH} + \text{pOH} = 14$, apontando a relevância do produto iônico da água (K_w) para a determinação do pH. Nesse sentido, percebe-se que os valores estabelecidos da escala de pH “não são arbitrários” (p.233), porém tem sua origem do valor experimental do K_w .

Desse modo, o uso de situações com o mesmo conteúdo, variando apenas em seus níveis de complexidade, auxilia na reiteração de conceitos e significação deles em diferentes contextos. Contudo, se as situações apresentadas tiverem o mesmo rigor, a aprendizagem do aluno pode se tornar restrita, o que coloca novamente como fundamental o papel do professor na proposição de problemas que envolvam diferentes aspectos do conteúdo para a sua melhor compreensão (Hilger, & Oliveira, 2012).

A categoria *Neutralização* traz a resposta que menciona esse fenômeno em sua explicação:

Base – hidróxido de sódio (NaOH) – são substâncias que em solução aquosa liberam OH⁻, neutraliza o ácido. NaOH → Na⁺ + OH⁻ (Maria).

Nesta resposta foi possível verificar os indicadores de teoremas-em-ação: “*substâncias que em solução aquosa liberam OH⁻*” e “*neutraliza o ácido*”, além da representação simbólica que não foi explorada em outras respostas dos estudantes. No entanto, não representa o estado da substância em questão e muito menos dos íons formados, isto é, embora seja evidenciada a aproximação da sua concepção à teoria de Arrhenius, não apresenta elementos suficientes para sustentar sua resposta. Percebe-se, novamente, o uso do verbo “liberar” que, como dito, indica um obstáculo substancialista.

A categoria *Teorias* traz uma resposta baseada nas teorias de definição de ácidos e bases:

Segundo Arrhenius, base é uma substância que libera OH⁻. Já segundo Brønsted-Lowry, uma base é uma substância que recebe o próton. Segundo Lewis, substância é básica quando doa elétrons. A Teoria de Brønsted-Lowry engloba a teoria de Arrhenius e a definição de Lewis engloba as duas. Desse modo, a definição de Lewis é considerada a mais completa (Cláudio).

À semelhança da questão anterior, o aluno utiliza os indicadores de teoremas-em-ação “*substância que libera OH⁻*”; “*base é uma substância que recebe o próton*”; “*uma substância é básica quando doa elétrons*”, trazendo uma concepção baseada nas definições propostas

pelas três teorias. Esse trecho é um exemplo que aponta o que é discutido na academia, quando se trabalha esse conteúdo em termos de “funções” – sugerindo a memorização de regras e classificações –, o que muitas vezes afasta os estudantes da completa compreensão da reatividade dos compostos.

A categoria *Receber H^+* foi representada pela resposta de Débora quando considerou “*Base toda substância que no meio aquoso recebe H^+* ”. Nesta resposta há a presença do possível indicador do teorema-em-ação: “*toda substância que no meio aquoso recebe H^+* ”. Neste teorema-em-ação, identifica-se uma mescla dos modelos teóricos de Arrhenius (*meio aquoso*) e de Brønsted-Lowry (*recebe H^+*). Como visto em outros estudos, os alunos tendem a confundir as teorias, uma vez que são apresentadas pelos professores de maneira sequencial, muitas vezes sem as devidas equiparações e complementaridades, gerando, assim, uma mistura de informações sem significação (Carr, 1984).

A definição de Arrhenius é apresentada, tradicionalmente, como conceito introdutório ao conteúdo de ácidos e bases, sendo um dos principais causadores de obstáculos de aprendizagem desses conceitos (Hilger, & Oliveira, 2012), isto porque é apresentada de maneira errônea, tanto por professores, quanto em livros didáticos (Silva et al., 2014), embora se reconheça que a apresentação da teoria de tal forma permite a compreensão de maneira mais simples e aplicável, em muitos casos (Souza, & Silva, 2018). Esses equívocos conceituais podem advir da abordagem das três teorias de forma quase simultânea, incorrendo no uso de uma definição com a intenção de explicar outra. Silva e Santiago (2012) explicam que a “adoção dos conceitos ácido-base de Arrhenius se justifica pela importância histórica da teoria e, principalmente, por sua ampla aplicabilidade em sistemas aquosos” (p. 78). No entanto, cabe ao professor apresentar os conceitos segundo teorias mais abrangentes, como a de Brønsted-Lowry.

Assim como o observado por Nascimento e Santos (2019), as explicações referentes às concepções sobre bases são menos abrangentes em comparação às feitas para ácidos. A razão para este fato pode estar na maior identificação e presença dos ácidos na linguagem cotidiana em relação às bases. Destaca-se também que, assim como na descrição sobre ácidos, para as bases os estudantes não se apoiaram nas características comportamentais das espécies químicas em sua classificação, uma vez que tal comportamento é correspondente à outra espécie na qual a interação ocorre (Campos, & Silva, 1999). Ainda que mencionem o solvente envolvido na definição, não fazem referência a uma possível interação entre eles, sem uma discussão sobre as propriedades como fruto da interação entre substâncias.

Logo, é necessário que ácidos e bases sejam ensinados em termos de comportamento, fruto de reações, e não apenas como uma função inorgânica, como é comumente apresentada aos alunos (Silva et al., 2018). Estudos mostram que este conteúdo é comumente abordado em termos de sequência dos modelos teóricos de Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis, respectivamente (Kiouranis et al., 2005).

Por reconhecer as lacunas deixadas pelo uso de tal sequência, Paik (2015) propõe uma nova conexão entre as definições, fundamentada nas categorias ontológicas dos conceitos científicos, a partir das abordagens de matéria e processo. Para o autor, existem diferenças entre as categorias ontológicas dos conceitos científicos e elas precisam ser consideradas, tendo em vista que muitas vezes impossibilitam a mudança da categoria ontológica de determinado conteúdo para outra. Conforme explicam Souza e Silva (2018), a química tem como foco o estudo da matéria e da reação, conforme é observado na definição de Arrhenius, a qual sugere ácidos e bases como algo material, enquanto a de Brønsted-Lowry, como um processo, aborda a reação que ocorre entre substâncias. Do mesmo modo, a definição de Lewis se relaciona com reação química, mas de modo mais amplo, pois inclui reações que não abordam prótons (H^+). Dessa forma, os modelos teóricos de Arrhenius e Brønsted-Lowry/Lewis devem ser considerados em termos de categorias ontológicas distintas, proporcionando maiores condições para a compreensão mais significativa do conteúdo (Kiouranis et al., 2005).

4.2 Resolução dos problemas

Nesta seção, serão apresentadas as resoluções dos estudantes para os problemas propostos concernentes a ácidos e bases. Para tanto, as respostas foram transcritas e organizadas em categorias de explicação. No problema 1 foi dada uma situação em que os alunos deveriam assinalar a substância que melhor atenuaria o efeito do derramamento de ácido sulfúrico no solo, justificando sua escolha, entre as seguintes opções: óleo diesel, H_2O , $Ca(OH)_2$, HNO_3 e $NaCl$.

Dos oito alunos que responderam aos problemas, sete deles optaram pelo Hidróxido de Cálcio - $Ca(OH)_2$. Desse modo, com base nas justificativas apresentadas para a solução do problema foram elaboradas três categorias: *Água e base*, respostas em que foram assinaladas as opções H_2O e $Ca(OH)_2$; *Neutralização*, respostas justificadas em torno do processo de neutralização; e *Não respondeu*, criada para inserir a resposta de uma aluna que não justificou a opção por ela assinalada.

Na categoria *Água e base*, os licenciandos apresentaram justificativas baseadas na utilização de água e base para atenuar os efeitos do ácido:

Dependendo da quantidade de ácido derramado, podemos reduzir sua concentração com H₂O diluindo-o, mas de forma mais efetiva utilizamos Ca(OH)₂ base de cálcio forte eliminando a acidez do ácido (Paulo).

Utilizaria H₂O e Ca(OH)₂, com essas duas substâncias químicas prepararia uma solução bastante forte, isto porque o hidróxido de cálcio Ca(OH)₂ é uma base. E aplicaria no local onde houve vazamento de ácido sulfúrico, mas com cuidado para não colocar a solução de Ca(OH)₂ em excesso. E quando fosse aplicada a solução básica haveria a reação de neutralização (Raquel).

Nestas respostas foram identificados os seguintes possíveis indicadores de teoremas-em-ação: “é possível reduzir a concentração do ácido com a adição de água”; “o Ca(OH)₂ elimina a acidez do ácido”; “H₂O e Ca(OH)₂ formam uma solução muito forte” e “ao adicionar a solução básica à solução ácida haverá a reação de neutralização”.

O indicador de teorema-em-ação “o Ca(OH)₂ elimina a acidez do ácido” traz o uso de termos equivocados, pois, o que ocorre é a reação entre a base e o ácido, a neutralização, com isso os efeitos do ácido são minimizados, ou seja, a acidez no local será reduzida e não a “acidez do ácido”. Tal dificuldade de explicação pode ser reflexo do que foi observado no questionário de conhecimentos prévios, visto que o aluno trouxe justificativas com ideias incompletas para a definição do comportamento ácido e básico das substâncias, além de não considerar que ocorre o processo de neutralização entre as substâncias para esse problema.

A TCC assume a existência de duas classes de situações, as quais estão relacionadas às competências pessoais dos estudantes para resolvê-las. No primeiro grupo de situações, os alunos possuem elementos suficientes para enfrentá-las, manifestando um desempenho “automatizado”, constituído por um único esquema. O segundo grupo se refere às situações nas quais o indivíduo não apresenta elementos suficientes para enfrentá-las, por isso, utiliza diferentes esquemas para solucioná-las (Rocha, & Basso, 2017). Para tanto, os esquemas precisam ser “acomodados, descombinados e recombinados”, como afirma Vergnaud (1982, p. 2).

Cedran e Kiouranis (2019) descrevem em seu trabalho que, para Vergnaud, um esquema pode apresentar a função, tanto de organizar e orientar ações em situações em que se possua certa familiaridade, como também de enfrentar situações até então desconhecidas, promovendo a adaptação às situações e, por meio do desenvolvimento cognitivo, sua ampliação a outras classes de situações.

A dificuldade observada pode estar relacionada aos esquemas necessários para a situação, pois, quando não há um esquema específico para uma dada situação, o estudante busca em seu repertório cognitivo esquemas relativos a ela, através da modificação/combinção de esquemas, além da ampliação de elementos cognitivos para a elaboração de novos esquemas. Isso se estabelece quando um esquema tem como base a conceitualização implícita, assim, embora o aluno não seja capaz de expressar o conceito, ele precisa compreendê-lo para que “funcione” corretamente (Rocha, & Basso, 2017). Para Vergnaud, o desenvolvimento de novos esquemas possibilita ao aluno o enfrentamento de situações com níveis mais complexos, nos quais serão elaborados novos invariantes operatórios.

Moreira (2002) explica que os professores utilizam palavras e sentenças para explicar dados conteúdos, além de formular questões, organizar informações, entre outras ações. Entretanto, a sua atuação em propor situações de aprendizagem frutíferas para os estudantes é a mais importante, pois, é por meio da resolução que o aluno se desenvolve cognitivamente, uma vez que, até chegar à solução da situação, o estudante utiliza diferentes esquemas, combinados, descombinados e recombinados (Rocha, & Basso, 2017).

A aluna Raquel em sua resposta fez referência ao Hidróxido de Cálcio como uma base forte, o qual, de fato, é classificado como tal, com pH elevado, pela sua completa dissociação, liberando íons cálcio e hidroxila (Chaves, Fernandes, & Ogata, 2018), ainda que, em sua resposta sobre seu entendimento para o conceito de base, tenha dado uma explicação simplista e inconclusiva relacionando-a à presença da hidroxila. Além disso, a aluna demonstrou considerar que a adição da solução básica deve ser cautelosa, a fim de não “colocar a solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ em excesso”. Nesse sentido, a estudante parece reconhecer a relevância da proporção das substâncias para que ocorra o processo de neutralização, fazendo referência que a base em excesso resultaria em uma predominância do meio básico no ambiente.

Considerando a definição de Arrhenius, modelo teórico que mais se aproximou à resposta da aluna, percebe-se que ela conseguiu assimilá-las como ácidas e básicas e ainda classificá-las como fortes. Vergnaud afirma que a familiaridade com dadas situações abordando o mesmo conteúdo permitirão aos alunos a elaboração de esquemas mentais, os quais poderão ser usados em uma gama de outras situações com diferentes graus de complexidade (Hilger, & Oliveira, 2012). Nesse sentido, na categoria *Neutralização*, obviamente, os alunos se basearam no processo de neutralização para a sustentação de suas explicações:

A melhor substância seria $\text{Ca}(\text{OH})_2$, pois sendo uma base, neutralizaria o ácido segundo a reação: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$. O sulfato de cálcio (CaSO_4) formado é parcialmente solúvel em água, podendo ser retirado pela corrente (chuvas) (Cláudio).

Utilizaria o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), que é uma base, no caso ela neutralizaria rapidamente o ácido sulfúrico (H_2SO_4), que é um ácido, formando água e um sal $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$ (João).

Realizaria uma neutralização do ácido com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$, isso acarretaria na formação de um sal insolúvel de CaSO_4 . Este por sua vez não é prejudicial ao solo, pois é uma substância muito utilizada na agricultura para adubar o solo (José).

O melhor modo de atenuar o efeito do ácido é utilizando uma base, no caso o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que neutralizaria o efeito do ácido e evitaria os danos ao meio ambiente (Pedro).

Neste caso, a substância utilizada seria $\text{Ca}(\text{OH})_2$, base. Sabendo que o ácido sulfúrico é um ácido forte, tendo características de doadores de prótons- os ácidos em geral. Portanto, a base escolhida irá receber estes prótons, formando, assim, sais e água, em uma reação de neutralização, deixando o local seguro e limpo (Maria).

Com essas respostas foram detectados os seguintes indicadores de teoremas-em-ação: “a base neutraliza o ácido” e “a reação de neutralização tem como produtos a formação de sal e água”. Destaca-se que, entre as respostas dessa categoria, somente a aluna Maria descreveu a teoria envolvida na sua explicação, a de Brønsted-Lowry, uma vez que se referiu a ácidos como espécies capazes de doar prótons, visto que é necessário que todos os conceitos utilizados estejam delimitados à teoria, para que seja atribuído sentido ao processo de neutralização (Liso, & Torres, 2002). Reitera-se que a apropriação do modelo teórico empregado nessa questão difere do utilizado pela aluna em sua definição de ácidos e bases no questionário sobre conhecimentos prévios.

As respostas dos alunos trazem reflexos de suas justificativas para as questões 1 e 2, relativas a seus conhecimentos prévios. O aluno Pedro, embora não tenha se apropriado de uma teoria nas questões 1 e 2, utilizando apenas a escala de pH para sua definição de ácidos e bases para o problema, foi capaz de classificar as substâncias como ácida.

Além do âmbito teórico, Cláudio e João utilizaram o simbolismo para respaldarem suas respostas, utilizando a representação da reação de neutralização. Conforme propôs Arrhenius (1903), ácidos e bases fortes em solução aquosa e, conseqüentemente, seus sais, apresentam-se “em extrema diluição quase completamente dissociada em seus íons” (tradução nossa), isto é, em uma reação entre ácidos e bases fortes, de acordo com os preceitos das

equações químicas, é possível suprimir os íons iguais nos dois lados da equação (Drechsler, & Schmidt, 2005).

Verifica-se, ainda, que os alunos Cláudio e João representaram a formação do sal e da água como produtos da reação e não identificaram os estados físicos das substâncias. O aluno João não utilizou a seta dupla para indicar a reversibilidade e a presença simultânea das espécies, representando um equilíbrio dinâmico, à semelhança do que foi observado no trabalho de Silva et al. (2008).

As representações simbólicas, segundo a TCC, são responsáveis por tornar um conceito significativo e que se estabeleça pela interação entre as situações e esquemas, sendo manifestadas pela linguagem e os símbolos. Estes são imprescindíveis para o processo de aprendizagem, pois o professor, por meio de sua função mediadora, os utiliza constantemente com o intuito de auxiliar os alunos a ampliar seu repertório de esquemas, bem como suas representações (Moreira, 2002).

Vergnaud (1982) avalia que uma representação é ordenada por conceitos, por isso não se pode imaginar, falar a respeito de determinado objeto ou simbolizá-lo sem conceitos, ainda que precedentes, acerca dele. Assim, as representações são estabelecidas pelos teoremas-em-ação, isto é, pelas proposições que são consideradas verdade. Por isso, se existirem problemas nos teoremas-em-ação, conseqüentemente, essas dificuldades serão refletidas nas tentativas de representações simbólicas, como foi observado nas respostas anteriores (Vergnaud, 1982).

A categoria *Não respondeu* foi elaborada para incluir a resposta da aluna Débora, que marcou a opção “*óleo diesel*”, não sendo possível fazer inferências acerca de seu possível esquema de ação para solucionar o problema. Contudo, o fato de a aluna ter assinalado essa opção indica um caminho inadequado para solucionar o problema, visto que não seria cabível para a situação apresentada. Vale salientar que isso ocorreu mesmo com ela tendo lançado mão da teoria de Arrhenius para justificar suas respostas no questionário de conhecimentos prévios. Portanto, é necessário ponderar sobre o estudo de ácidos e bases de modo que leve os alunos a refletir, debater, justificar suas concepções, bem como buscar aplicá-las em diferentes situações, utilizando seus conhecimentos teóricos.

Vale destacar que, ao responder o problema 1, os licenciandos não fizeram menção ao calor envolvido na reação de neutralização, que se apresenta como um fator indispensável para a resolução do problema. Aqueles que apresentaram justificativas para suas respostas assinalaram a alternativa que trazia o hidróxido de cálcio, tomando-a como a melhor opção entre as demais. Desse modo, não foram consideradas outras opções mais viáveis, como sais e

óxidos com caráter básicos, como o óxido de cálcio (CaO), cuja ausência na lista de opções poderia ter sido notada pelos alunos.

No problema 2, os alunos deveriam explicar o motivo de o limão e o vinagre serem boas opções para a eliminação do odor de peixe nas mãos de uma personagem fictícia, considerando que eles representariam a resposta dada pelo químico acionado para resolver a questão. De acordo com as respostas fornecidas, foram elaboradas três categorias: *Transformação da metilamina*, descrita por um dos alunos para explicar o processo ocorrido no problema; *Aderência do ácido à metilamina* e *Neutralização*, como processos responsáveis pela eliminação do odor do peixe das mãos.

A categoria *Transformação da metilamina* foi criada em função da seguinte resposta, que se fundamenta na transformação da metilamina em outra substância, a partir da reação com o H^+ .

Que vinagre e o limão são ácidos, eles têm H^+ no seu meio e quando o vinagre ou limão entrassem em contato com H_3C-NH_2 (substância química) que está na sua mão, haveria uma reação, no qual o H^+ iria transformar o H_3C-NH_2 em outra substância (Raquel).

Nesta resposta, foram identificados os possíveis indicadores de teoremas-em-ação: “vinagre e o limão têm H^+ no seu meio” e “O H^+ transforma o H_3C-NH_2 em outra substância”. No primeiro possível indicador de teorema-em-ação apresentado, a aluna classificou o vinagre e o limão como ácidos e afirmou que os mesmos contêm “ H^+ no seu meio”, não explicando a que meio se referia, o que evidencia uma explicação confusa com relação aos ácidos, remetendo novamente à ideia de que ácidos são substâncias que contêm H^+ , à semelhança do que foi dito por ela na questão 1 do questionário introdutório, que ácido seria “uma substância que apresenta concentrações de $[H^+]$ ”.

Como discutido anteriormente, esse tipo de indicador de teorema-em-ação é comumente originado de concepções prévias adquiridas ao longo do período escolar que aparentemente permanecem em sua estrutura cognitiva, sugerindo a necessidade de aplicação de seus conhecimentos acerca desse conceito. Moreira (2002) afirma que, nas concepções prévias dos estudantes, estão incluídos os teoremas e conceitos-em-ação. Embora não sejam ainda considerados verdadeiros teoremas e conceitos científicos, podem se tornar tais, em conjunto à ação mediadora do professor e explicitação dos alunos, mesmo que essa mudança conceitual leve tempo. Contudo, algumas concepções prévias atuam como obstáculo epistemológico para a aprendizagem de dados conceitos, precisando, conseqüentemente, que

elas sejam abandonadas ou modificadas para alcançar a aprendizagem. Para isso, reitera-se a ação mediadora do professor como fundamental (Moreira, 2002).

Na tentativa de explicar a reação que ocorre entre as substâncias, a aluna não se referiu à metilamina como substância com comportamento básico, apenas como *substância química*. Além disso, atribuiu ao H^+ a capacidade de “*transformar o H_3C-NH_2 em outra substância*”. Tal concepção pode constituir-se também em obstáculo substancialista, como descrevem Ribeiro e Gonçalves (2019) baseados na perspectiva de Lopes (2007), o qual é evidenciado por uma justificativa indevida, como considerar as propriedades ácidas e básicas inerentes ao próton H^+ e à hidroxila (OH^-) presentes nas moléculas. Além disso, transmite a ideia de transmutação, podendo refletir em seus alunos a concepção de que “as substâncias se transformam porque seus átomos se transformam”, não que seus átomos se rearranjaram para formar novas substâncias (Silva, Souza, & Marcondes, 2008).

Ainda a respeito dos conhecimentos prévios, na TCC defende-se que eles devem ser considerados nos processos de ensino e aprendizagem. Conforme Ausubel, estes são definidos como “subsunçores” para que se aprenda o novo conceito e a aprendizagem significativa ocorre quando esses conhecimentos interagem como os novos conceitos. Contudo, se o aluno não avança no sentido de estabelecer relações entre os antigos e novos conceitos, a aprendizagem ficará estagnada e dará espaço para a persistência das concepções alternativas ao longo do período escolar. Desse modo, o professor pode auxiliar o aluno através da apresentação dos conteúdos, levando em consideração o nível de complexidade, a fim de favorecer assimilação com os conceitos prévios (Jenske, 2011).

A resposta pertinente à categoria *Aderência do ácido à metilamina* foi elaborada com base na aderência do ácido à metilamina, bem como na solubilidade da substância em água:

O ácido (vinagre ou limão) adere à molécula de metilamina, fazendo-a mais fácil de ser removida da pele. Por ser solúvel em água, a substância é diluída pela água presente no vinagre e no limão (José).

Uma visão diferente com relação ao processo que ocorre entre as substâncias é observada na resposta de José, na qual foram identificados os indicadores de teoremas-em-ação “*O ácido (vinagre ou limão) adere à molécula de metilamina*” e “*a metilamina é solúvel em água*”. O aluno explica que a remoção do odor, ocasionado pela metilamina, é resultado de uma aderência do ácido à molécula metilamina, o qual não pondera a ocorrência da reação entre o ácido e a base, citando apenas aspectos referentes à solubilidade e à presença de água no vinagre e no limão.

O fato de a metilamina se tratar de uma substância orgânica com comportamento básico, segundo a teoria de Brønsted-Lowry, pode ter dificultado a associação do aluno entre a base e o ácido e a consequente reação entre as substâncias, o que realmente ocorre, e não aderência, na qual ocorre a ligação entre as substâncias. A resposta do aluno na questão 2 sobre conhecimentos prévios corrobora esta conjectura, pois, definiu base como “*constituída pelo íon OH⁻*”.

Como já discutido, o enfrentamento de situações com graus de complexidade diferentes ajuda na elaboração e ampliação dos esquemas utilizados pelos estudantes para a sua resolução. A resposta do aluno sugere a falta de esquemas relacionados à aplicação do comportamento de substâncias orgânicas, reconhecendo que o conteúdo é comumente mais trabalhado com relação às funções inorgânicas, estudadas no último ano do ensino médio e melhor exploradas no ensino superior. Na química orgânica, os modelos teóricos utilizados para explicar o comportamento ou interação das substâncias são comumente os de Brønsted-Lowry e Lewis.

Assim como no estudo do conteúdo de ácidos e bases na química inorgânica, é possível observar a mesma problemática na química orgânica, em que estudantes utilizam palavras para conceituar ácidos e bases. Figueira, Oliveira, Salla, & Rocha (2009) apontaram que alunos do 3º ano do ensino médio, ao estudarem a função orgânica “ácidos carboxílicos”, passaram a conceituar ácido como substância que apresenta o grupo funcional –COOH, porém, nenhum deles representou a ionização da carboxila. Por isso, os professores devem propor situações enriquecedoras que podem promover o desenvolvimento de esquemas e gerar conflitos, de modo que esquemas existentes se moldem a novas situações que lhes forem apresentadas (Cedran, & Kiouranis, 2019).

Na categoria *Neutralização* há as respostas justificadas com base na reação de neutralização entre os ácidos presentes no vinagre e no limão e a base para a eliminação do odor do peixe.

A metilamina é uma substância básica, que em contato com a água libera íons OH⁻ = H₃C-NH₂ + H₂O → H₃C-NH₃⁺ + OH⁻. O vinagre, que contém ácido acético, e o limão que contém ácido cítrico, neutralizam a metilamina, acabando com o mau cheiro (Cláudio).

Vinagre e limão são ácidos (H⁺) e neutralizam a metilamina. A metilamina reage com os ácidos para formar o íon metilamônio, que não tem cheiro (João).

O cheiro característico da metilamina é típico das bases, pois liberam um odor forte. A utilização de ácido como neutralizantes da base, o vinagre é um ácido leve e o

limão já é um ácido mais forte. Contudo, ambas são eficientes para eliminação do odor (Paulo).

Porque o odor do peixe é uma base e a (solução) substância limão/vinagre são ácidos, os quais neutralizam a base, deixando sem odor (Maria).

O limão e o vinagre são substâncias de caráter ácido, podendo assim neutralizar o odor do peixe (Débora).

Porque o limão ou vinagre são substâncias ácidas. Logo quando se utiliza esses produtos irá ocorrer a neutralização do cheiro (Pedro).

Nestas respostas foram identificados diferentes possíveis identificadores de teoremas-em-ação: “o vinagre, que contém ácido acético, e o limão que contém ácido cítrico”; “o ácido neutraliza a metilamina”; “vinagre e limão são ácidos”; “a metilamina reage com os ácidos para formar o íon metilamônio”; “o vinagre é um ácido leve e o limão já é um ácido mais forte”.

O aluno Paulo descreveu que “O vinagre é um ácido leve e o limão já é um ácido mais forte”. Na resposta de Cláudio há uma maior aproximação do modelo teórico de Arrhenius, na qual o aluno classificou a metilamina como básica e explicou que o vinagre e o limão contêm, e não que são, de fato, substâncias ácidas (“O vinagre, que contém ácido acético, e o limão que contém ácido cítrico”), apontando o processo de neutralização entre o ácido e a base como responsáveis pela eliminação do mau cheiro na mão: “O ácido neutraliza a metilamina”.

O aluno apresenta, ainda, a mesma concepção contida nas questões 1 e 2 do questionário sobre concepções prévias, de que ácido e base “liberam” H^+ e OH^- , respectivamente, remetendo à definição de Arrhenius, embora o fenômeno em questão seja melhor explicado pela definição de Brønsted-Lowry, na qual a metilamina recebe prótons da água, formando o íon metilamônio e o íon hidroxila. Desse modo, ao adicionar o ácido (quer seja pelo limão ou pelo vinagre) há um deslocamento do equilíbrio no sentido do íon metilamônio, que não tem cheiro.

O aluno João reconheceu o vinagre e o limão como ácidos e o representou com o próton H^+ , remetendo à explicação apresentada na questão 1 do questionário introdutório, de que ácidos são substâncias que liberam H^+ e contêm, necessariamente, esse íon em sua fórmula molecular. O aluno explica, ainda, a eliminação do odor pelo processo de neutralização, no qual há a formação do íon metilamônio, que é inodoro, como observado anteriormente.

Na resposta de Pedro, ao se referir à eliminação do odor de peixe, utilizou a expressão "*neutralização do cheiro*", não explicando a ocorrência da reação de neutralização entre as substâncias. Embora no problema anterior, a aluna Débora não tenha apresentado uma resposta clara, neste problema, ela explicou o processo de eliminação do odor do peixe em decorrência da reação de neutralização do ácido com a base.

De modo geral, a maioria dos alunos apresentou respostas baseadas na reação entre as substâncias, contudo, alguns justificaram de forma incompleta, com pouco ou nenhum respaldo químico para sustentar sua resolução, o que sugere dificuldades na associação entre conceitos e suas aplicações, como anteriormente discutido. Estudos demonstram que determinados alunos por vezes entendem dado fenômeno, no entanto, sentem dificuldade em dar explicações para tal, não atribuindo a adequada relevância à funcionalidade dos conhecimentos incluídos nele (Brandão, Araujo, & Veit, 2014).

5. Implicações para o Ensino e Considerações Finais

Esta pesquisa destaca a identificação de teoremas-em-ação para a elucidação, reflexão e discussão relativas a problemas de conceitualização no ensino de ácidos e bases, mostrando que o professor pode contribuir para a aprendizagem do estudante, direcionando-o à ampliação/modificação de teoremas-em-ação que podem atuar como obstáculos na aprendizagem de conceitos (Boni, & Laburú, 2017).

Desse modo, o presente trabalho apresenta sua relevância na possibilidade de direcionar professores, em formação inicial, na abordagem do campo conceitual de ácidos e bases, visto que foram explorados possíveis indicadores de teoremas-em-ação nas concepções dos alunos que podem ser por eles identificados na mediação da aprendizagem. Logo, os resultados aqui expostos podem contribuir com outras pesquisas relacionadas ao tema e favorecer um ensino que considere os teoremas-em-ação aqui identificados. Esta questão é reforçada quando se leva em conta que os invariantes operatórios ainda são pouco explorados no campo conceitual de ácidos e bases.

Além disso, a pesquisa permitiu uma breve discussão sobre o modo como os alunos aprendem o conteúdo e como isso poderia influenciar na sua forma de ensinar, considerando-se que em muitas respostas dos estudantes foram identificados equívocos conceituais com relação ao conteúdo explorado.

Os professores em formação tiveram, ainda, a oportunidade de discutir aspectos relacionados à sua aprendizagem, pois o momento propício para a exploração e reflexão de

diferentes pontos relativos ao exercício da docência é durante a formação. Ao perceberem suas concepções, os licenciandos foram levados a reconhecer suas aptidões e limitações com relação ao conteúdo, podendo refletir como ocorre a aprendizagem de seus alunos.

Nesse sentido, realizar um mapeamento dos possíveis indicadores de teoremas-em-ação possibilita o direcionamento da atividade do professor de modo a favorecer o enriquecimento das concepções dos alunos e tornar os teoremas-em-ação mais próximos do que é cientificamente aceito (Alegro, 2008). Com relação aos processos de ensino e aprendizagem faz-se necessário que se reconheça a importância de acompanhar o desempenho dos alunos e, conseqüentemente, de avaliar sua atuação docente diante dos avanços ou retrocessos apresentados por seus alunos.

Desse modo, a presente pesquisa fornece a pesquisadores da área, um importante subsídio para estudos que explorem a temática com vistas à compreensão e acompanhamento do processo de aprendizagem, bem como o reconhecimento da importância do papel do professor na mediação e suas limitações, por meio da identificação de teoremas-em-ação relacionados aos conteúdos explorados em sala de aula.

Referências

Alegro, R. C. (2008). Conhecimento prévio e aprendizagem significativa de conceitos históricos no ensino médio. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Filosofia e Ciências, São Paulo, Brasil.

Almouloud, S. A. (2011). As transformações do saber científico ao saber ensinado: o caso do logaritmo. *Educar em Revista*, (1), 191-210. <https://doi.org/10.1590/S0104-40602011000400013>.

Alvarado, C., Garriz, A., Cañada, F., & Mellado, V. (2015). Canonical pedagogical content knowledge by CoRes for teaching acid–base chemistry at high school. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 16(3), 603-618. <https://doi.org/10.1039/C4RP00125G>

Antonello, S. B., Garcia, I. K. G., Santarosa, M. C. P. S., Baggio, G. H. C., & Lopes, J. L. L. (2018). Possíveis indicadores de invariantes operatórios pertinentes aos campos conceituais

da eletrodinâmica e proporcionalidade no ensino médio integrado. *Revista Ciências & Ideias*, 9(1), 51-75. <http://dx.doi.org/10.22407/2176-1477/2018.v9i1.827>

Arrhenius, S. (1903). "The Nobel Prize in Chemistry 1903". Recuperado de: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/arrhenius-lecture.pdf>

Bogdan, R., & Biklen, S. (1999) *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto: Porto Editora.

Boz, Y. (2009). Turkish prospective chemistry teachers' alternative conceptions about acids and bases. *Sch. Sci. Math.*, 109(4), 212-222. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2009.tb18259.x>

Boni, K. T., & Laburú, C. E. (2017). "Diversidade Representacional e teoremas-em-ação: um estudo de caso a respeito da construção de conhecimento de um estudante no campo conceitual vetorial". *XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis, Brasil.

Brandão, R. V., Araujo, I. S., & Veit, E. A. (2014). Um estudo de caso para dar sentido à tese de que a modelagem científica pode ser vista como um campo conceitual. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 9(1), 1-21.

Campos, R. D., & Silva, R. C. (1999). Funções da química inorgânica...funcionam. *Quim. Nova Esc.* 9(1), 18-22.

Carr, M. (1984). Model confusion in chemistry. *Res Sci Educ.*, 14(1), 97-103.

Cedran, D. P., & Kiouranis, N. M. M. (2019). Teoria dos campos conceituais: visitando seus principais fundamentos e perspectivas para o ensino de ciências. *ACTIO*, 4(1), 63-86. <https://doi.org/10.3895/actio.v4n1.7709>

Chaves, A. P., Fernandes, S. L., & Ogata, M. (2018). Uso do hidróxido de cálcio como medicação intracanal. *Arch. Health. Invest*, 4(7). <http://dx.doi.org/10.21270/archi.v7i0.3668>

Cunha, K. M. A., & Ferreira, L. N. de A. (2020). A Teoria dos Campos Conceituais e o Ensino de Ciências: Uma Revisão. *Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 20(u), 523–552. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u523552>

Domínguez-Amaya, M. E. (2019). Niveles de argumentación en el aprendizaje de los conceptos de ácido base. Dissertação de mestrado, Universidade Autônoma de Manizales, Faculdade de Estudos Sociais e Empresariais, Caldas, Colômbia.

Drechsler, M., & Schmidt, H. J. (2005). Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models used in chemistry teaching. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 6(1), 19-35. <http://dx.doi.org/10.1039/B4RP90002B>

Fanaro, M. A., Otero, M. R., & Moreira, M. A. (2009) Teoremas-en-acto y conceptos-en-acto en dos situaciones relativas a la noción de sistema cuántico. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 9(3).

Fernandes, C. C. M., & D'ávila, J. L. (2016). A ideologia do "aprender a aprender" e o aligeiramento na formação de professores da Educação Básica. *Perspectivas em Diálogo: revista de educação e sociedade*, 3(6), 90-103.

Figueira, A. C. M. (2010). Investigando as concepções dos estudantes do ensino fundamental ao superior sobre ácidos e bases. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Figueira, A. C. M., Oliveira, A. M., Salla, L. F., & Rocha, J. B. T. (2009). “Concepções alternativas de estudantes do ensino médio: ácidos e bases”. *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Florianópolis, Brasil.

Gama, M. S., & Afonso, J. C. (2007). De Svante Arrhenius ao peagâmetro digital: 100 anos de medida de acidez. *Quim. Nova*, 30(1), 232-239. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000100038>

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. *Investigações em ensino de ciências*, 7(1), 31-53.

Grings, E. T. O., Caballero, M. C., & Moreira, M. A. (2008). Avanços e retrocessos dos alunos no campo conceitual da termodinâmica. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 7(1), 23-46.

Hilger, T., & Oliveira, A. (2012). O problema dos teoremas-em-ação sobre a força de atrito na disciplina de física geral para graduação. *R. bras. Ens. Ci. Tecnol.*, 5, 54-70. <https://doi.org/10.3895/S1982-873X2012000100004>

Kikuchi, L. M. (2012). Obstáculos à aprendizagem de conceitos algébricos no ensino fundamental: uma tentativa de aproximação entre os obstáculos epistemológicos e a teoria dos campos conceituais. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Kiouranis, N. M. M., Silveira, M. P. D., Silva, E. L. D., Tanaka, A. S., Alves, A. A., & Claus, T (2005). A pertinência do estudo das propriedades ácido-base de compostos orgânicos no ensino médio. *Enseñanza de las Ciencias*, extra, 1-5.

Krey, I. (2009). Implementação de uma proposta de ensino para a disciplina de estrutura da matéria baseada na teoria dos campos conceituais de Vergnaud. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Lima, C., & Moradillo E. F. (2019). Ácidos e Bases nos Livros Didáticos: Ainda Duas das Quatro Funções da Química Inorgânica? *Quím. Nova Esc.*, 41(3), 242-247. <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160167>

Liso, M. R. J., & Torres, E. M. (2002). La neutralización ácido-base a debate. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(3), 451-464.

Lopes, R. C. S. (2017). A relação professor-aluno e o processo ensino aprendizagem. *Dia a dia e educação*, 9, 1-8.

Magina, S. (2005). A Teoria dos Campos Conceituais: contribuições da Psicologia para a prática docente. *Encontro Regional de Professores de Matemática*, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.

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(1), 7-29.

Moreira, M. A. (2009). *Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências*. Porto Alegre-RS. Recuperado em: <http://moreira.if.ufrgs.br/Subsidios5.pdf>

Moreira, M. A. (2012). ¿Al final, qué es aprendizaje significativo? *Revista Currículum*, 25, 29-56.

Nascimento, G. S., & Santos, B. F. (2019). Aprendizagem dos Conceitos de Ácidos e Bases em um Estudo Sobre a Linguagem. *Quím. Nova Esc.*, 41(2), 179-189. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160136>

Paik, S. H. (2015). Understanding the relationship among Arrhenius, Brønsted–Lowry, and Lewis theories. *J. Chem. Educ.*, 92(9), 1484-1489. <https://doi.org/10.1021/ed500891w>

Parisoto, M. F., Moreira, M. A., & Moro, J. T. (2013). Teoremas-em-ação e conceitos-em-ação na física aplicada à medicina. *Ensino, Saúde e Ambiente* 6(3), 114. <https://doi.org/10.22409/resa2013.v6i3.a21146>

Raupp, D., Serrano, A., & Moreira, M. A. (2009). Desenvolvendo habilidades visuoespaciais: uso de software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica em química. *Experiências em ensino de ciências*, 4(1), 65-78.

Ribeiro, M. T. D., & Gonçalves, T. V. O. (2019). Os saberes científicos e pedagógicos do conteúdo de ácidos e bases na educação básica. *Revista Areté/Rev. Amazônica de Ensino de Ciências*, 11(24), 136-155.

Rocha, K. C., & Basso, M. V. A. (2017). Programação em Scratch na Sala de Aula: investigações sobre a construção do conceito de ângulo. *RENOTE*, 15(1), 725-734. <https://doi.org/10.5753/cbie.wie.2019.725> .

Santana, E., Alves, A. A., & Nunes, C. B. (2015). A Teoria dos Campos Conceituais num Processo de Formação Continuada de Professores. *Bolema: Boletim de Educ. Mat.*, 29(53), 1162-1180. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v29n53a18>

Santos, M. S. (2009). A Abstratividade das Ciências Químicas, Físicas e Matemáticas – O Xadrez como Auxílio no Desenvolvimento das Habilidades Cognitivas. *Saber Científico*, 2(2) 63-79.

Schön, D. (1992). Formar professores como profissionais reflexivos. In: Nóvoa, António. Os professores e a sua formação. *Dom Quix.*, 2(7), 77-92.

Schuhmacher, V. R. N., Alves Filho, J. P., & Schuhmacher, E. (2017). As barreiras da prática docente no uso das tecnologias de informação e comunicação. *Ciência & Educação*, 23(3), 563-576. <https://doi.org/10.1590/1516-731320170030002>

Schultz, E. (1997). Ionization or dissociation? *J. Chem. Educ.*, 74(7), 868. <https://doi.org/10.1021/ed074p868>

Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 7(1), 32-45. <https://doi.org/10.1039/B5RP90014J>

Silva, E. L., Souza, F. L., & Marcondes, M. E. R. (2008). Transformações Químicas e Transformações Naturais: um estudo das concepções de um grupo de estudantes do ensino médio. *Educ. Quím.*, 19, 114-120.

Silva, F. C. V., & Amaral, E. M. R. (2014). "Tendências de pesquisa, concepções de estudantes e desenvolvimento histórico do conceito de ácido". *XVII Encontro Nacional de Ensino de Química*, Ouro Preto, Brasil.

Silva, L. A., Larentis, A. L., Caldas L. A., Ribeiro M. G. L., Almeida R.V., & Herbst, M. H. (2014). Obstáculos epistemológicos no ensino-aprendizagem de química geral e inorgânica no ensino superior: resgate da definição ácido-base de Arrhenius e crítica ao ensino das "funções inorgânicas". *Quím. Nova Esc.*, 36(4), 261-268. <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20140031>

Silva, M. P., & Santiago, M. A. (2012). Proposta para o ensino dos conceitos de ácidos e bases: construindo conceitos através da História das Ciências combinada ao emprego de um *software* interativo de livre acesso. *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces*, 5, 49-82.

Silva, R. M. S. D., Nascimento, M. G., Cunha, R. L. O. R., & 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 acepción de la teoría de los campos conceptuales. *Educación Química*, 29(3), 48-60. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63720>

Silva, S. M., Eichler, M. L., Salgado, T. D. M., & Del Pino, J. C. (2008). "Concepções alternativas de calouros de química para as teorias ácido-base". *XIV Encontro Nacional de Ensino de Química*, Paraná, Brasil.

Souza, C. R., & Silva, F. C. (2018). Discutindo o contexto das definições de ácido e base. *Quím. Nova Esc.*, 40(1), 14-18. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160099>

Souza, L. O., Santana, A. L.; Silva, P. N., Silva, F. C. V., & Simões Neto, J. E. (2016). “Um Olhar para a Transposição Didática de Equilíbrio Iônico”. *XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química*, Florianópolis, Brasil.

Tauceda, K. C. (2014). O contexto escolar e as situações de ensino em ciências: interações que se estabelecem na aprendizagem entre alunos e professores na perspectiva da teoria dos campos conceituais. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Tauceda, K. C., & Del Pino, J. C. (2014). Processos cognitivos e epistemologias da teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud, do ensino narrativo e do aprender a aprender. *Ciências & Cognição*, 19(2) 256-266.

Vergnaud, G. (1982). Cognitive and developmental psychology and research in mathematics education: Some theoretical and methodological issues. *For the learn.of Math.*, 3(2), 31-41.

Vergnaud, G. (1989). La formation des concepts scientifiques. Relire Vygotski et débattre avec lui aujourd'hui. *Enfance*, 42(1), 111-118.

Vergnaud, G. (1990). La teoría de los campos conceptuales. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10(2), 133-170.

Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *The J.l of Math. Behavior*, 17(2), 167-181. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(99\)80057-3](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(99)80057-3)

Vergnaud, G. (2009). The theory of conceptual fields. *Human development*, 52(2), 83-94. <https://doi.org/10.1159/000202727>

Vergnaud G. (2013a). Pourquoi la théorie des champs conceptuels? *Infanc. y aprendiz.*, 36(2):131-161. <https://doi.org/10.1174/021037013806196283>

Vergnaud, G. (2013b). Conceptual development and learning. *Revista Qurrriculum*, 26, 39-59.

Vergnaud, G. (2017a). *Piaget e Vygotsky em Gérard Vergnaud Teoria dos Campos Conceituais TCC*. Porto Alegre: GEEMPA.

Vergnaud G. (2017b). *O que é aprender? Iceberg da conceitualização*. Porto Alegre: GEEMPA.

Vergnaud, G., Rogalski, J., & Artique, M. (1989). The Kindergartners' Understanding of Cardinal Number: An International Study. *Proceedings of the 13th Annual Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*. France, Paris, Recuperado em: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED411141.pdf>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Kariny Mery Araujo Cunha – 40%

Inês Maria de Souza Araújo – 15%

Jerino Queiroz Ferreira – 15%

Luciana Nobre de Abreu Ferreira – 30%