



PESQUISA BIBLIOGRÁFICA: AS REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO DE ACORDO COM OS MODELOS MENTAIS

Bibliographic Research: oxy-reduction reactions according to mental models

Ângela Malvina Durand [durand.angela1989@gmail.com]

Isabel Krey Garcia [ikrey69@gmail.com]

Programa de Pós-Graduação: Química da Vida e Saúde

Universidade Federal de Santa Maria

Avenida Roraima, 1000, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

Resumo

A aprendizagem é um processo gradual e pessoal, que modifica o comportamento dos indivíduos. No âmbito educacional, a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird fornece um referencial que permite entender como o estudante pode refletir, raciocinar, utilizar estratégias de resolução de problemas. Também permite compreender o processo que favorece a construção de suas próprias representações mentais sobre os modelos conceituais trabalhados em aula, como por exemplo, das reações químicas de oxirredução, um conteúdo considerado abstrato e de difícil compreensão, tanto no ensino médio quanto superior. Deste modo, a presente pesquisa visa investigar como os principais periódicos de Ensino de Química e de Ciências vêm relacionando os modelos mentais e conceituais das reações químicas de oxirredução. Para isso, realizou-se uma pesquisa bibliográfica em vinte e um periódicos Qualis A1 e A2 de ambas as áreas, produzidos no período de 2008 e 2018. Após leitura exploratória do material, encontraram-se cinquenta e seis objetos de estudo, os quais foram separados em categorias definidas *a priori* e emergentes. No decorrer deste processo, os artigos foram então classificados em quatro níveis – Nível 1, Nível 2, Nível 3 e Nível 4 – conforme abordam as relações entre os modelos conceituais e mentais das reações de oxirredução. Do total de trabalhos analisados, em três é possível observar o quão distantes estão os modelos mentais dos estudantes dos modelos conceituais de oxirredução, além de averiguar quais suas principais dificuldades, equívocos e concepções ingênuas/alternativas sobre este conteúdo. Acredita-se que este trabalho possa contribuir na melhoria da compreensão do processo de ensino e aprendizagem dos conceitos envolvidos nas reações químicas de oxirredução, servindo como subsídio para que a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird seja cada vez mais utilizada no Ensino de Química, além de dar suporte teórico às futuras pesquisas.

Palavras-Chave: Pesquisa Bibliográfica; Reações de Oxirredução; Modelos Mentais.

Abstract

Learning is a gradual and personal process that changes the behavior of individuals. In the educational context, the Johnson-Laird Theory of Mental Models provides a referential that allows understanding how the student can reflect, reason, and use problem solving strategies. It also allows to understand the process that favors the construction of your own mental representations about the conceptual models worked in the class, such as, for example, of the chemical oxy-reduction reactions, a content considered abstract and difficult to understand, both in high school and higher education. Thus, the present research aims to investigate how the main journals of Chemical and Science Teaching have been relating the mental and conceptual models of chemical oxy-reduction reactions. For this, a bibliographic research was conducted in twenty-one Qualis A1 and A2 journals from both areas, produced in the period of 2008 and 2018. After exploratory reading of the material, fifty-six objects of study were found, which were separated in categories defined *a priori* and emerging. During this process, the articles were then classified in four levels - Level 1, Level 2, Level 3 and Level 4 - as they approach the relationships between the conceptual and mental models of the oxy-reduction reactions. From the total of analyzed works, in three it is possible to observe how distant the students' mental models are from the conceptual models of oxy-reduction, in addition to ascertaining their main difficulties, mistakes and naive/alternative conceptions about this content. It is believed that this work can contribute to improving the understanding of the teaching and learning process of the concepts involved in chemical oxy-

reduction reactions, serving as a subsidy for the Johnson-Laird Theory of Mental Models to be increasingly used in the Teaching of Chemical, in addition to providing theoretical support for future research.

Keywords: Bibliographic Research; Oxy-Reduction Reactions; Mental Models.

INTRODUÇÃO

As teorias de aprendizagem são amplamente utilizadas em pesquisas na área do ensino e buscam trabalhar com os aspectos envolvidos no ato de aprender. Subjacentes às teorias estão as filosofias, sendo a cognitiva aqui enfatizada, a qual preocupa-se saber como o indivíduo conhece e interpreta o mundo. Seu foco está nos processos mentais, considerando a atribuição de significados, a compreensão, a transformação, o armazenamento e o uso de informações envolvidas na cognição (Moreira, 1999; Moreira & Massoni, 2015). Como os seres humanos não aprendem o mundo diretamente, mas têm uma representação interna dele, uma teoria cognitivista implica no raciocínio, fazendo cada indivíduo construir modelos para tirar conclusões e compreender os eventos que acontecem ao seu redor a partir da percepção (Johnson-Laird, 2010).

Na construção do conhecimento científico, o uso de modelos como suporte para a compreensão de determinado assunto é significativo e tem papel fundamental para a Ciência, possibilitando aprender o “real” teoricamente (Bunge, 1974), além de ser “*parte integrante do processo de aquisição do conhecimento pelo ser humano*” (Gibin, 2013, p. 7). Por conta da polissemia desta palavra, Justi (2010) assegura não existir uma única definição para ela, mas afirma que em Ciências, a palavra “modelo” pode ser uma representação parcial de uma entidade, elaborado com um ou mais objetivos específicos e que podem ser modificados.

O uso de modelos não ocorre somente no âmbito acadêmico e científico. Pelo contrário, todo indivíduo inserido em sua realidade é capaz de produzir em sua mente e de forma abstrata, sendo estes denominados modelos mentais (Moreira, 2014). Cada indivíduo tem em mente os modelos necessários para determinado trabalho, seja para esquematizar seus respectivos modelos mentais na elaboração de tarefas diárias, como passar café e dirigir um automóvel, ou então em tarefas específicas, como nos métodos de ensino utilizados por um professor. Para Azinheira (2012), isso ocorre devido à visão que as pessoas têm do mundo ao interagirem com o ambiente que os rodeia e com os elementos pertencentes a esse e, por isso, modelos mentais internos passam a ser formados, representando o modo como cada um compreende e interpreta o mundo.

Em 1943, durante a Segunda Guerra Mundial, Kenneth Craik foi um dos primeiros pesquisadores a contribuir para o desenvolvimento dos modelos mentais, ao falar da capacidade que a mente humana tem em construir modelos envolvendo a realidade (Johnson-Laird, Girotto & Legrenzi, 1998). Craik deu os primeiros passos à construção da Teoria dos Modelos Mentais, mas por falecer cedo demais, aos 31 anos, deixou suas ideias para outros cientistas cognitivos. Logo, Moreira, Greca & Palmeiro (2002) relatam que dois livros foram responsáveis pela continuidade dos estudos sobre o assunto, ambos publicados em 1983 e intitulados “Mental Models”, um escrito por Philip Johnson-Laird, e o outro por Gentner e Stevens.

Utiliza-se nesta pesquisa a Teoria dos Modelos Mentais (TMM) sob à luz do referencial de Johnson-Laird (1983). O pressuposto que guia esta teoria é que os indivíduos raciocinam tentando visualizar as possibilidades compatíveis com o que sabem ou acreditam e, ao perceberem o mundo, a visão passa a produzir um modelo mental de tudo o que está presente na cena em frente a eles. Da mesma forma, ao entenderem o mundo, começam a construir uma representação semelhante, embora menos rica, isto é, um modelo mental do mundo baseado no significado da descrição e também em seus conhecimentos (Johnson-Laird, 2013, 2010).

A fim de não tornar este trabalho extremamente longo, será feita uma abordagem sucinta a respeito dos principais conceitos utilizados pela TMM. Contudo, alguns dos referenciais em que a mesma pode ser melhor encontrada, são: Craik (1943); Greca y Moreira (1996); Lagreca (1997); Borges (1997, 1999); Moreira e Lagreca (1998); Johnson-Laird *et al.* (1998); Aranha (2010); Azinheira (2012); Johnson-Laird (1983, 2004, 2010, 2013); Moreira (1996); dentre outros.

Antes de introduzir o conceito de modelo mental, é pertinente definir o termo representação, o qual significa qualquer notação, signo ou conjunto de símbolos que representam algum aspecto do mundo externo ou interior, pois os indivíduos não captam o mundo exterior diretamente, mas constroem representações mentais internas (na imaginação) dele (Moreira *et al.*, 2002; Lagreca, 1997).

Para Johnson-Laird (1983), o mundo não é percebido diretamente e o que cada indivíduo experimenta depende de um modelo do seu mundo. Assim, quando a percepção atinge os órgãos de sentidos, a informação contida nela é usada pelo sistema nervoso, levando à construção de uma representação. Ramos (2014) define duas etapas para a ocorrência das representações mentais – a necessidade de uma estrutura cerebral suficientemente complexa para estabelecer conexões entre os eventos externos e os internos; e a validade destas de forma gradual, confrontando-as com o ambiente, pois a capacidade de gerar fenômenos mentais elaborados, como crenças e desejos, é evolutiva. Ou seja, as representações partem de comportamentos interativos simples, mas devido à capacidade de usar a linguagem e interagir em grupos sociais, aos poucos tornam-se mais complexas.

Considerando-se que as representações mentais são formadas a partir da aprendizagem e da interação social, pode-se dizer que uma representação mental “representa” uma coisa real, mas esta não é a coisa real em si, porque a natureza da mente e seu sistema perceptivo exercem um efeito decisivo sobre a percepção do mundo de uma pessoa, bem como da forma que ela o representará, pois a visão do mundo depende do modo como o mundo é e também do modo como as pessoas são, e todo o conhecimento do mundo depende da capacidade de cada indivíduo em construir modelos dele (Johnson-Laird, 1983, 2010).

As representações mentais classificam-se em externas e internas. As primeiras são incorporações de ideias ou conceitos que permitem olhar ou analisar algo pela percepção, como mapas, pinturas, equações matemáticas, físicas e químicas, etc., e estão relacionadas com os modelos científicos (Johnson-Laird, 1983; Ozgum-Koca, 1998; Santos, 2014). Já as internas são modelos cognitivos idiossincráticos, isto é, são imagens construídas na mente de cada indivíduo envolvendo uma determinada realidade e não são observáveis de forma direta, capacitando-o de “re-presentar” internamente o mundo ao seu redor (Moreira & Lagreca, 1998). Estas últimas operam sob três formas: representação proposicional, representação analógica e modelo mental (Johnson-Laird, 1983).

As representações proposicionais são uma cadeia de códigos que correspondem à linguagem e são representadas por palavras. São “tipo-linguagem” no sentido de que captam os conceitos subjacentes a uma situação e não por serem, necessariamente, formadas por palavras (Johnson-Laird, 1983; Moreira & Lagreca, 1998). Um exemplo são as fórmulas químicas que representam determinados conceitos, repletos de outros conhecimentos, os quais ajudam a dar sentido a elas. As analógicas organizam-se por regras de combinação, concretas e específicas da qual a informação é recebida. A imagem visual é um exemplo e representa visualmente o modelo mental sob um determinado ponto de vista, como resultado da imaginação (Johnson-Laird, 1983; Moreira, 1996). Por último, tem-se o modelo mental, o terceiro e principal construto representacional da TMM, o qual transita entre as representações proposicionais e as analógicas e que, segundo Johnson-Laird (1983, p. 397),

[...] desempenham um papel central e unificador na representação de objetos, estados de coisas, sequências de eventos, a maneira como o mundo é e as ações sociais e psicológicas da vida cotidiana. Eles permitem que os indivíduos façam inferências e previsões, compreendam os fenômenos, decidam qual ação tomar e controlar sua execução e, acima de tudo, experimentar eventos por procuração; permitem usar a linguagem para criar representações compatíveis àquelas derivadas do conhecimento direto do mundo; e relacionam as palavras com o mundo por meio de conceitos e percepção (tradução nossa).

Os modelos mentais são representações psicológicas de situações reais, hipotéticas ou imaginárias, cuja estrutura corresponde à estrutura do que eles representam, podendo ser comparados aos modelos arquitetônicos de edifícios de um engenheiro civil, aos modelos de moléculas complexas de um químico ou aos diagramas de interação de partículas dos físicos (Johnson-Laird *et al.*, 1998).

Resumidamente, para que as representações mentais sejam formadas, pode-se dizer que as representações proposicionais possibilitam a construção de modelos mentais e as imagens, a visualização destes. É válido mencionar ainda que nem sempre os modelos mentais construídos por determinado indivíduo serão adequados e cientificamente aceitos, mas serão funcionais ao permitirem que situações (reais ou imaginárias) sejam representadas (Moreira, 1996; Moreira & Lagreca, 1998).

O estudo de modelos e representações mentais é muito importante para o Ensino de Ciências, especialmente em relação à Química, pois esta também possui conceitos abstratos, sendo impossível enxergar o mundo microscópico diretamente, como átomos, elétrons, íons, etc., tornando ainda mais importante a construção de modelos mentais, pois somente proposições soltas são insuficientes para

compreender a maioria de seus conceitos. Alguns trabalhos que abordam a TMM no Ensino de Química, são vistos em: Damasceno, Brito e Wharta (2008), Gibin (2013), Gibin e Ferreira (2012), Santos, Melo e Andrade (2015), Carvalho e Justi (2005), etc. Além destes, alguns trabalhos que são objetos de estudo da presente pesquisa bibliográfica e que utilizam os modelos mentais na Química, são: Kórhasan and Wang (2016); Al-Balushi and Al-Hajri (2014); Santos, Lima e Sarmento (2017); VanReken, Howard, Brown, Chung and Jobson (2013); Supasorn (2015); Ouasri (2017).

As diferentes formas de representações utilizadas na área da Química visam o ensino e a aprendizagem de teorias e fenômenos. Entretanto, Gibin e Ferreira (2009) defendem a necessidade de uma linguagem própria dos estudantes, capaz de representar os modelos conceituais trabalhados em aula, e os modelos mentais, por serem as estruturas cognitivas internas de cada estudante, contribuem para isso (Gibin, 2013).

Em relação aos modelos conceituais, Norman (1983) explica que estes são projetados por professores, pesquisadores e engenheiros, e têm por finalidade fornecerem uma representação precisa, consistente e completa, facilitando a compreensão do conhecimento. Já os modelos mentais são idiossincráticos e orientam os indivíduos na utilização das coisas. O autor complementa ainda que, idealmente, deveria haver uma relação direta e simples entre ambos os modelos, mas isso é difícil de acontecer, pelo fato de que os modelos mentais acabam refletindo as crenças do indivíduo, apresentando conceitos contraditórios e errôneos.

No contexto educacional, o objetivo do professor é, por meio de modelos conceituais, conduzir o estudante a construir modelos mentais adequados e coerentes (Moreira *et al.*, 2002). Portanto, assim como um químico constrói modelos para fenômenos químicos, um estudante deve ser capaz de construir seus próprios modelos para dar conta destes fenômenos, ainda que menos completos.

No âmbito da Química, as reações químicas podem ser consideradas o cerne da área. Todavia, por existirem vários tipos, Constantino, Silva e Donate (2004) afirmam não ser uma tarefa fácil defini-las e generalizá-las a partir de um conceito global, isto é, não existe um único modelo conceitual capaz de explicar todos os tipos de reações químicas e nem um único modelo mental que dê conta de todas. No entanto, muitas reações comuns, como a combustão, a corrosão e o metabolismo dos alimentos parecem diferentes, mas, ao serem examinadas em um nível molecular, são exemplos de um único tipo reacional, ou seja, são reações de oxirredução (Atkins & Jones, 2012). Deste modo, considerando sua diversidade de aplicações e importância perante à sociedade, somente as reações químicas de oxirredução serão enfatizadas nesta pesquisa.

Nesse sentido, Santos (2016) expõe que relacionar as propriedades macroscópicas com os modelos e as representações das estruturas microscópicas, implica atribuir sentido e significado a algo que não se pode enxergar, dando significado aos fenômenos estudados. Desta forma, ao ser apresentado a uma equação química que representa uma determinada reação, um estudante precisa ter os conhecimentos necessários para distinguir qual tipo está acontecendo ali e que modelo conceitual o ajudará a explicá-la melhor, para então poder formar, estruturar e organizar seus respectivos modelos mentais sobre a reação química em questão.

O modelo conceitual aqui utilizado baseia-se na perspectiva de Atkins e Jones (2012). Para estes, o conceito básico envolvendo as reações químicas de oxirredução está na transferência de elétrons de uma espécie para outra, acarretando numa perda de elétrons na oxidação e ganho na redução. A transferência eletrônica ocorre porque os elétrons são partículas reais e não podem ser simplesmente “perdidos”, e por isso, em uma reação de oxirredução, sempre que uma espécie oxidar, outra se reduzirá.

A espécie que provoca a oxidação chama-se agente oxidante pois, ao agir, aceita os elétrons liberados pelas espécies que se oxidam. Em outras palavras, o oxidante contém um elemento no qual o número de oxidação diminui. Por outro lado, a espécie que promove a redução chama-se agente redutor e, ao fornecer os elétrons para a espécie que está sendo reduzida, perde elétrons, isto é, o redutor contém um elemento no qual o número de oxidação aumenta (Atkins & Jones, 2012). Para reconhecer esse tipo de reação, de acordo com os autores, é preciso observar o que acontece a cada um dos átomos participantes das reações, tanto nos reagentes quanto nos produtos, observando se há ou não migração de elétrons de uma espécie para outra.

Silverstein (2011) complementa ao defender a ideia de que o “modelo de elétrons” é a definição mais comum ensinada no ensino superior, mas nem sempre os elétrons são literalmente trocados, fato este que corrobora para que o “modelo do número de oxidação” seja a única universal, a qual pode ser definida

para todos os tipos de reações químicas de oxirreduções, sem exceções. Portanto, essa deve ser a definição primária de oxidação nos cursos de Química.

Pelo fato destas reações se fazerem presentes em diversas situações cotidianas, Klein (2016) argumenta que o entendimento das reações químicas de oxirredução pode ajudar na promoção de habilidades como a capacidade de pensar, refletir, compreender e agir sobre as determinações da vida social e produtiva, tornando-se um facilitador da leitura do mundo. Porém, o conhecimento científico envolvendo os conceitos sobre essas transformações é muito complexo e exige um raciocínio mais elaborado, dificultando, em alguns momentos, o estabelecimento de analogias com fenômenos do mundo macroscópico, visto que não é fácil entender que, a partir dos processos de oxidação e redução, elétrons são transferidos de uma substância para outra (Barreto, Batista & Cruz, 2017). Assim, por mais que mudanças macroscópicas sejam perceptíveis durante a ocorrência destas reações, a troca eletrônica entre os átomos é uma das maiores dificuldades encontradas. Além da transferência, outras dificuldades contribuem para que este conteúdo seja considerado de difícil compreensão pelos estudantes devido ao seu alto grau de abstração, como por exemplo, em relação aos seguintes conceitos: oxidação e redução, agente oxidante e redutor, números de oxidação, etc. (Akram, Surif & Ali, 2014; Freire, Junior & Silva, 2011; Goes, Fernandez & Agostinho, 2016; Kelly, Akaygun, Hansen & Cerdas, 2017; Dow, 2018, Klein & Braibante, 2017). A partir disso, percebe-se que vários são os fatores que corroboram para o surgimento dos diferentes obstáculos no processo de ensino e aprendizagem a respeito deste conteúdo, gerando cada vez menos indícios de aprendizagem significativa (na visão de Ausubel, 1982).

Nesta perspectiva, tendo como base o modelo conceitual das reações químicas de oxirredução e os modelos mentais que os sujeitos constroem sobre tais reações, o objetivo deste artigo foi averiguar como os principais periódicos de Ensino de Química e de Ciências vêm relacionando os modelos mentais e conceituais das reações químicas de oxirredução. Para isso, realizou-se uma pesquisa bibliográfica em periódicos Qualis A1 e A2, de ambas as áreas, produzidos entre os anos de 2008 e 2018, que contemplam artigos sobre ambos os assuntos.

PERCURSO METODOLÓGICO

Considerando-se o modelo conceitual das reações químicas de oxirredução e os modelos mentais construídos pelos sujeitos sobre estas, busca-se resolver o seguinte problema de pesquisa: como os principais periódicos do Ensino de Química e de Ciências vêm relacionando os modelos mentais e conceituais das reações químicas de oxirredução?

Visando respostas para este questionamento, a metodologia aqui utilizada baseia-se na realização de uma pesquisa bibliográfica, sendo esta norteada pelo referencial teórico de Gil (2002), o qual expõe que este tipo de trabalho deve ser desenvolvido a partir de materiais já existentes, como livros e artigos científicos, cuja principal vantagem é possibilitar ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente.

Conforme o autor, algumas etapas devem ser seguidas no desenvolvimento, não de forma rigorosa, mas como um roteiro para o pesquisador, como: escolha do tema; levantamento bibliográfico preliminar; formulação do problema; elaboração do plano provisório de assunto; busca das fontes; leitura do material; fichamento; organização lógica do assunto e redação do texto. No entanto, as etapas sugeridas por Gil (2002) e que foram utilizadas nesta pesquisa bibliográfica, encontram-se organizadas numericamente, de acordo com a ordem de realização de cada uma delas, conforme mostra a Figura 1.



Figura 1 – Etapas de realização da pesquisa bibliográfica (Adaptado de Gil, 2002).

A seguir, cada uma destas etapas serão discutidas, conforme ordem numérica estabelecida na Figura 1.

Etapa 1) Levantamento bibliográfico preliminar: Por se tratar de uma etapa mais abrangente, traçou-se como meta para a realização desta pesquisa bibliográfica a investigação de trabalhos publicados em periódicos Qualis A1 e A2, entre janeiro de 2008 e dezembro de 2018, disponíveis pela Plataforma Sucupira¹, conforme Classificação do Quadriênio 2013-2016 da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Etapa 2) Elaboração do plano provisório: Para estabelecer a organização lógica do trabalho, elaborou-se um plano provisório mais abrangente, subsidiado por dois critérios, conforme descritos a seguir:

2.1) Seleção dos periódicos: Conforme verificado na Plataforma Sucupira, dentre os Qualis A1 e A2 da área do ensino, existem 343 periódicos, nacionais e internacionais, sendo 145 - Qualis A1 e 198 - Qualis A2. Contudo, para a obtenção dos artigos que compõem esta pesquisa, a partir do total de periódicos citados, inicialmente investigou-se quais eram disponíveis on-line e gratuitos. Posteriormente, a partir dos sites de cada periódico, analisou-se os títulos e seus respectivos focos e escopos, a fim de averiguar a presença dos seguintes termos: Ensino de Química e/ou de Ciências, Educação em Química e/ou Ciências.

Ao final, restaram 8 periódicos classificados em Qualis A1 (Biochemistry and Molecular Biology Education; Chemistry Education – Research and Practice; Ciência e Educação; Educación Química; Ensaio; Enseñanza de las Ciencias; Journal of Baltic Science Education; e Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias) e 13 periódicos Qualis A2 (Acta Scientiae; Alexandria; Amazônia; Areté; Dynamis; Investigações em Ensino de Ciências; Praxis; Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias; Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia; Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências; Revista de Educação, Ciências e Matemática; Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias; e Revista de Ensino de Ciências e Matemática).

2.2) Palavras-chave: Com o intuito de averiguar como os 21 periódicos selecionados no primeiro critério relacionam os modelos conceituais das reações químicas de oxirredução e os modelos mentais acerca destas, foram utilizados dois conjuntos de palavras-chave (Quadro 1). O Conjunto 1 destinou-se à realização da seleção mais ampla dos artigos, enquanto que o Conjunto 2, à seleção final, conforme descritos na Etapa 3.

Quadro 1: Conjunto 1 e 2 de Palavras-chave.

Conjunto 1	Conjunto 2
Modelo(s) mental(ais)	Oxirredução ²
	Oxidação
	Redução
	Eletroquímica ³
Representação(ões) mental(ais)	Pilhas
	Célula galvânica
	Agente oxidante
	Agente redutor
Imagem(ns) mental(ais)	Número de oxidação
	Transferência de elétrons
	Estados de oxidação

¹ Ferramenta disponibilizada pela CAPES à comunidade acadêmica, a qual permite averiguar a produção científica dos programas de pós-graduação. A classificação Qualis dos periódicos pode ser obtida por meio de consulta em <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>

² Para esta palavra-chave, também foram selecionados artigos contendo outras formas de nomenclaturas, como reações redox e reações de oxidação-redução.

³ Destaca-se que o foco norteador desta pesquisa está nos conceitos envolvidos nas reações de oxirredução, deixando de lado a eletroquímica. No entanto, por se tratar de um conteúdo que depende dos conceitos envolvidos em tais reações químicas, utilizaram-se também algumas palavras-chave relacionadas à eletroquímica.

Etapa 3) Busca das fontes: Na identificação das fontes capazes de fornecer possíveis respostas à solução do problema, organizaram-se duas seleções, “Seleção 1” e “Seleção 2”, as quais dependem dos conjuntos de palavras-chave presentes no Quadro 1 (Critério 2.2 da Etapa 2).

3.1) Seleção 1: Realizou-se a seleção geral dos artigos presentes nos 21 periódicos obtidos na Etapa 2 (Critério 2.1). A busca ocorreu diretamente no site de cada um deles, analisando-se as publicações entre 2008 e 2018. Em todos os artigos, as palavras-chave contidas no Conjunto 1 (modelos mentais, representações mentais, imagens), tanto no singular quanto no plural, foram inseridas no sistema de busca presente nos arquivos.

Desta forma, os trabalhos que contemplam alguma dessas palavras no decorrer dos seus respectivos textos, exceto nas referências bibliográficas, foram selecionados. Isto é, os artigos relacionados às representações mentais foram separados, independentes de apresentarem ou não alguma das palavras-chave relacionadas às reações de Oxirredução. O Quadro 2 apresenta a quantidade de artigos selecionados, separados por periódicos, bem como o número total obtido nos Qualis A1 e A2. Para melhor identificá-los, utilizou-se a letra P (periódico), seguida do seu respectivo Qualis e em ordem numérica, como por exemplo, PA1-1 e PA1-2.

Quadro 2: Identificação dos periódicos Qualis A1 e A2 e de artigos obtidos na Seleção 1.

Periódicos A1		
Nome do periódico	Identificação	Total
Biochemistry and Molecular Biology Education	PA1-1	18
Chemistry Education – Research and Practice	PA1-2	153
Ciência e Educação	PA1-3	30
Educación Química	PA1-4	58
Ensaio	PA1-5	28
Enseñanza de las Ciencias	PA1-6	86
Journal of Baltic Science Education	PA1-7	18
Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias	PA1-8	60
TOTAL DE ARTIGOS A1		451
Periódicos A2		
Nome do periódico	Identificação	Total
Acta Scientiae	PA2-1	49
Alexandria	PA2-2	27
Amazônia	PA2-3	13
Areté	PA2-4	31
Dynamis	PA2-5	6
Investigações em Ensino de Ciências	PA2-6	61
Praxis	PA2-7	8
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	PA2-8	44
Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia	PA2-9	28
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	PA2-10	31
Revista de Educação, Ciências e Matemática	PA2-11	16
Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias	PA2-12	26
Revista de Ensino de Ciências e Matemática	PA2-13	26
TOTAL DE ARTIGOS A2		366
TOTAL		817

3.2) Seleção 2: Após a identificação dos 817 artigos, foi feita uma segunda análise utilizando-se o Conjunto 2 de palavras-chave, relacionada às reações químicas de oxirredução (Oxirredução, oxidação, redução, eletroquímica, pilhas, célula galvânica, agente oxidante e redutor, número e estados de oxidação, Transferência de elétrons).

O Quadro 3 apresenta os artigos selecionados que contemplam, em algum momento do texto, palavras-chave contidas no Conjunto 2 e, simultaneamente, no Conjunto 1. Isto é, trabalhos que apresentam possíveis contribuições para esta pesquisa a partir da relação dos modelos mentais e conceituais das reações químicas de oxirredução. Para melhor sistematização, constam no Quadro 3 a identificação dos periódicos em ordem numérica, de 01 a 56⁴, os autores e o ano de publicação.

Quadro 3: Artigos Qualis A1 e A2 obtidos a partir da Seleção 2.

Qualis A1			
Periódico	Identificação	Ano	Autores
Biochemistry and Molecular Biology Education (PA1-1)	01	2010	Schönborn and Anderson
Chemistry Education – Research and Practice (PA1-2)	02	2013	VanReken, Howard, Brown, Chung and Jobson
	03	2015	Sevian, Bernholt, Szeinberg, Augusto and Pérez
	04	2016	Vladušić, Bucat and Ožić
	05	2014	Bhattacharyya
	06	2016	Salah and Alain
	07	2014	Taber
	08	2017	Kelly, Akaygun, Hansen and Cerdas
	09	2014	Sevian and Talanquer
	10	2016	Tümay
	11	2016	Körhasan and Wang
	12	2014	Brandriet and Bretz
	13	2014	Solas and Gómez
	14	2015	Zhou, Wang and Zheng
	15	2014	Tsaparlis and Finlayson
	16	2014	Al-Balushi and Al-Hajri
	17	2009	Kermen and Méheut
	18	2008	Ganaras, Dumom and Larcher
	19	2009	Schmidt, Kaufmanna and Treagustb
	20	2010	Strickland, Kraft and Bhattacharyya
	21	2011	Boukhechem, Dumonb and Zouikri
	22	2014	Flynn
	23	2017	Graulich and Bhattacharyya
	24	2016	Gegios, Katerina and Spyros,
	25	2015	Supasorn
	26	2017	Blonder and Sakhnini
	27	2017	Kondakci, Demirdögen, Akın, Tarkinc and Günbatar
	28	2018	Sevian and Couture

⁴ As referências desta pesquisa bibliográfica serão apresentadas no Apêndice 1, em ordem numérica, conforme apresentadas no Quadro 3 e não em ordem alfabética.

Qualis A1			
Periódico	Identificação	Ano	Autores
	29	2016	Akkuzu and Uyulgan
	30	2013	Dori and Sasson
	31	2017	Ouasri
	32	2015	Joki, Lavonen, Juutib and Aksela
Educación Química (PA1-4)	33	2018	Guerrero, Guerrero and Ramos
	34	2009	Acuña
	35	2015	Sevian, Brenes, Arce y Szeinberg
	36	2014	Farré y Lorenzo
	37	2012	Bravo
	38	2009	Mendonça e Justi
	39	2011	Rubilar y Aymerich
	40	2010	Rodríguez y Martínez
Enseñanza de las Ciencias (PA1-6)	41	2014	Garófalo, Alonso Y Galagovsky
	42	2014	Lacolla, Villagrà Y Valeiras
	43	2013	Aragón, Oliva y Navarrete,
	44	2012	Torres <i>et al.</i>
Journal of Baltic Science Education (PA1-7)	45	2018	Dow
	46	2017	Demirdöğen
Qualis A2			
Acta Scientiae (PA2-1)	47	2014	Santos e Silva
Investigações em Ensino de Ciências (PA2-6)	48	2008	Eichler, Dayan e Fagundes
	49	2015	Francisco, Alexandrino e Queiroz.
	50	2016	Silva e Queiroz
	51	2016	Gonçalves e Julião
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (PA2-8)	52	2015	Olivera, Mazzitelli y Guirado
	53	2011	Matus, Benarroch y Nappa
	54	2009	Badillo, Miranda y Torres
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (PA2-10)	55	2013	Silva, Braibante e Pazinato
Revista de Educação, Ciências e Matemática (PA2-11)	56	2017	Santos, Lima e Sarmento

Etapa 4) Leitura do material: Com o intuito de obter as informações necessárias provenientes dos artigos encontrados, fez-se uma leitura integral destes a fim de estabelecer relações com o problema de pesquisa, isto é, averiguar as relações existentes entre os modelos mentais e conceituais sobre oxirredução. Segundo Gil (2002), a leitura dos textos apresenta uma série de classificações, dependendo dos objetivos da leitura. Logo, tendo como base a interpretação dada nas obras, pode-se dizer que a leitura classifica-se como “exploratória” ao verificar até que ponto as obras são pertinente à pesquisa; “seletiva”, por realizar a Seleção 2, evitando-se a leitura de textos que não contribuem para a solução do problema; “analítica”, ao ordenar e apontar as informações, possibilitando as categorizações para a análise; e, por último, “interpretativa”, por procurar conferir significados mais profundos aos resultados encontrados.

Etapa 5) Fichamento e organização: Posterior à leitura e tomada de apontamentos para a organização das ideias encontradas, estruturou-se alguns critérios para que o trabalho pudesse ser entendido como uma unidade dotada de sentido. Para tanto, dois processos de fichamentos de leitura foram confeccionadas para a identificação das obras, registro dos conteúdos e ordenação. O Processo de

Fichamento 1 proporcionou uma visão mais abrangente, bem como a criação de categorias *a priori* (anteriores à leitura do material) envolvendo a natureza, o foco, o ano de publicação e o idioma. Já o Processo de Fichamento 2 possibilitou fazer um levantamento dos principais aspectos envolvendo os conteúdos presentes nas publicações, gerando categorias emergentes (posteriores à leitura do material). Estes critérios foram organizados em ambos os processos, conforme estruturados no Quadro 4.

Quadro 4: Critérios de análise estabelecidos para os Processos de Fichamento 1 e 2.

Processo de Fichamento 1	Processo de Fichamento 2
I - Natureza	V – Modelos mentais
II - Foco	
III – Ano de publicação	VI – Reações químicas de oxirredução
IV – Idioma	

No Processo de Fichamento 1, foi feito um levantamento dos trabalhos de natureza prática ou teórica (critério I), investigando-se sobre o que ou quem tratam cada artigo (critério II). Além disso, os critérios III e IV visam, respectivamente, estipular os anos com maiores números de publicações, bem como o idioma de cada artigo.

Conforme já mencionado, somente publicações contendo as palavras-chave dos Conjuntos 1 e 2, simultaneamente, passaram a fazer parte do objeto de estudo da presente pesquisa bibliográfica. Deste modo, quanto aos conteúdos encontrados nos textos, o Processo de Fichamento 2 traz os critérios V “Modelos mentais” e VI “Reações químicas de oxirredução”, os quais serão analisados conjuntamente e organizados em “Níveis”. Ao todo, quatro níveis foram criados e apresentam como os modelos conceituais e mentais das reações químicas de oxirredução estão atrelados, além de dependerem do grau de aprofundamento teórico dos dois conjuntos de palavras-chave construídos na Etapa 2.

Um artigo pertencerá ao Nível 1 quando tiver pouco aprofundamento teórico das palavras-chave contidas nos Conjuntos 1 e 2, isto é, em algum momento do texto as palavras destes conjuntos aparecerão, porém sem nenhuma relação entre elas, apenas poucas citações ou exemplificações, ou então falam de cada um deles de modo simplório, sem maiores explicações sobre ambos os assuntos.

Para ser classificado em Nível 2, o trabalho deverá ter pouco aprofundamento teórico das palavras do Conjunto 1 e elevado nos conceitos elencados do Conjunto 2. Ou seja, as palavras relacionadas à TMM deverão ser citadas brevemente e poucas vezes, sem nenhum olhar mais aguçado sobre o assunto, assim como no Nível 1. Já os termos atrelados à oxirredução aparecerão mais vezes, além de serem melhores explanados, acarretando maiores contribuições e relevância à obra. Acontecerá o contrário no Nível 3, tendo em vista que o Conjunto 1 será mais aprofundado e o Conjunto 2 menos. Assim, o artigo terá pouco aprofundamento teórico em relação às reações de oxirredução, sendo poucas vezes citadas, sem maiores explicações, mas as palavras relacionadas ao Conjunto 1 serão mais elucidadas e presentes no decorrer do texto. Nesses três primeiros Níveis dificilmente será observado relações entre as palavras-chave dos Conjuntos 1 e 2.

Por último, os artigos presentes no Nível 4 apresentarão ambos os Conjuntos de palavras-chave com elevado aprofundamento teórico, além de maiores relações entre um e outro, isto é, entre os modelos mentais e as reações de oxirredução. Por conta disto, este Nível melhor contribui com os objetivos desta pesquisa, ou seja, apresentará maiores subsídios para resolução do problema exposto no presente artigo.

Etapa 6) Redação do texto: Para finalizar, fez-se a redação do texto a partir do tratamento dos objetos de estudo encontrados no decorrer dos resultados e discussões.

Para a elaboração desta redação utilizaram-se categorizações *a priori* e emergentes (categorias dedutivas e indutivas, conseqüentemente). As primeiras são atribuídas às características gerais dos artigos referentes ao Processo de Fichamento 1 (natureza, foco, ano de publicação e idioma), e as segundas ao aprofundamento da leitura das obras, relacionadas ao Processo de Fichamento 2. Para tanto, no decorrer da construção do texto de análise, também são apresentados alguns gráficos, com os resultados na forma de números e percentagens, objetivando uma melhor visualização dos dados obtidos.

Para a análise destes níveis utilizaram-se, quando necessário, categorias e subcategorias emergentes, elaboradas de acordo com os objetivos das palavras-chave apresentadas nos textos. Por exemplo, quando muitos artigos trazem a questão do uso dos diferentes tipos de representações mentais para resolver problemas ou para avaliar a aprendizagem dos estudantes, a categoria criada terá ênfase na utilização destes como estratégias de ensino. No entanto, nem todos os Níveis necessitarão de categorias para serem analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme citado anteriormente, após a realização da “Seleção 2” dos artigos, fez-se os processos de fichamento para melhor analisá-los. A seguir, serão apresentados os resultados obtidos por meio dos Processos 1 e 2, bem como as possíveis discussões acerca destes.

a) Processo de Fichamento 1

Critérios I e II – “Natureza” e “Foco”

Estes critérios possibilitaram fazer um levantamento da organização dos trabalhos, a fim de averiguar quais são de natureza teórica ou prática, bem como o foco dos mesmos. Magoga (2017) ressalta que trabalhos de natureza prática são aqueles que organizam, constroem ou implementam ações educativas no processo de ensino e aprendizagem com professores e/ou estudantes de qualquer nível de ensino. Por outro lado, por natureza teórica entende-se que são aqueles que buscam discutir elementos, características e/ou referenciais associados aos mais variados conceitos, teorias, metodologias, problemas relacionados ao ensino, etc.

Desta forma, dos 56 artigos selecionados, quarenta e três (76,78%) têm perfil prático e treze (23,21%), perfil teórico (Quadro 5).

Quadro 5: Natureza dos artigos.

Natureza	Teóricos	Práticos
Identificação do artigo	07, 10, 13, 15, 30, 34, 37, 49, 50, 51, 53, 54 e 55	01,02, 03, 04, 05, 06, 08, 09, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 52 e 56

Conforme evidenciado no Quadro 5, há predominância de trabalhos de natureza prática. Todavia, por mais que a Química seja uma Ciência centrada na experimentação, o fato de serem publicações da área do Ensino, faz com que estes artigos não estejam somente atrelados a esse tipo de prática, pois abarcam outros recursos e metodologias de ensino, como uso de simuladores, jogos lúdicos, resolução de problemas e atividades práticas investigativas. Alguns destes envolvem ainda, a partir da utilização dos recursos e métodos citados, a sondagem das representações utilizadas por estudantes e professores, sejam elas mentais, simbólicas, submicroscópicas/microscópicas e macroscópicas.

Dentre os trabalhos de natureza prática, analisou-se também o foco apresentado por cada um, observando-se abordagens com públicos e níveis de ensino diferentes. Dos quarenta e três artigos, vinte e cinco foram desenvolvidos com estudantes do ensino superior, dezenove do ensino médio e dois do ensino fundamental (artigos 39 e 43), além disso, quatro investigaram as concepções de professores sobre assuntos variados da Química (Quadro 6).

Quadro 6: Foco dos artigos analisados.

Foco	Ensino fundamental e Médio	Ensino Superior	Professores
Identificação do artigo	02, 04, 09, 14, 16, 17, 19, 24, 25, 26, 31, 32, 38, 39, 42, 43, 44, 46, e 48	01, 02, 03, 04, 05, 06, 08, 09, 11, 12, 20, 21, 22, 23, 28, 29, 33, 35, 36, 41, 45, 47, 48, 52 e 56	04, 18, 27 e 40

Ressalta-se que em alguns casos, as pesquisas são feitas com distintos públicos, uma vez que há artigos desenvolvidos com professores do ensino médio como também do ensino superior e, por conta disso, estão presentes em mais de um foco.

Baseando-se nos trabalhos de natureza prática, foi possível verificar ainda as subáreas da Química que os artigos integram, conforme mostra o Quadro 7.

Quadro 7: Subáreas da Química apresentadas por cada artigo prático.

Subárea	Orgânica	Inorgânica	Bioquímica
Identificação do artigo	03, 05, 06, 09, 14, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 29, 31, 35, 36, 38, 44 e 52	02, 04, 08, 11, 12, 17, 25, 28, 33, 42, 45 e 48	01 e 41

Os demais vinte e quatro artigos, isto é, 12, 07, 10, 13, 15, 19, 24, 26, 27, 30, 34, 32, 37, 39, 40, 43, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 54 e 55, por apresentarem um contexto mais geral ou por serem teóricos, não constam nessa divisão de subáreas.

No entanto, é oportuno esclarecer que nem todas as publicações tratam diretamente das reações de oxirredução. Muitas, principalmente os artigos classificados em Nível 1 e que serão tratados a seguir, utilizam apenas exemplos ou menções de palavras-chave que as envolvem. Assim, nem todos os artigos classificados como práticos pesquisaram, por exemplo, as concepções ou as dificuldades dos estudantes ou dos professores sobre as reações de oxirredução.

Critérios III e IV – “Ano de publicação” e “idioma”

Para obter a frequência das publicações envolvendo os modelos mentais e as reações de oxirredução, fez-se uma análise das publicações nos periódicos destinados ao Ensino de Química e ao Ensino de Ciências nos últimos 10 anos (Critério I), separando-as de acordo com seus respectivos Qualis (Figura 2).

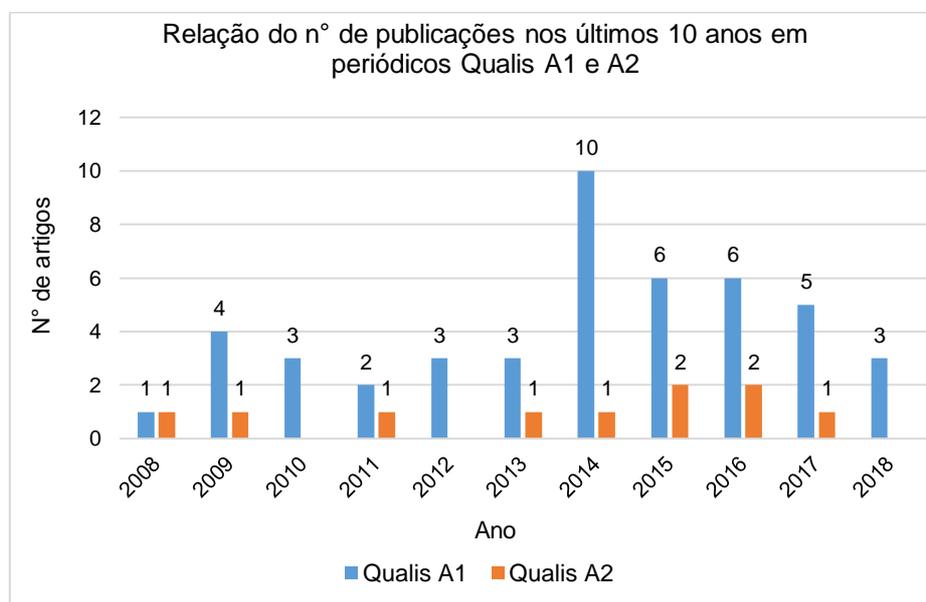


Figura 2 - Relação do nº de publicações nos últimos 10 anos em periódicos destinados ao Ensino de Química e Ciências, Qualis A1 e A2.

Entre 2008 e 2018, as publicações em periódicos Qualis A1 que contemplam palavras-chave do Conjunto 1 e 2 são mais frequentes do que quando comparadas às publicações Qualis A2, principalmente entre 2014 e 2017. Salienta-se ainda a diferença de publicações nestes Qualis nos últimos dez anos, pois quarenta e seis artigos foram publicações em periódicos Qualis A1 e dez em Qualis A2.

Indo ao encontro do exposto, a Figura 3 faz um comparativo entre os idiomas encontrados em cada Qualis (Critério IV). Dos quarenta e seis artigos Qualis A1, trinta e quatro encontram-se na língua inglesa, onze na espanhola e apenas um na portuguesa e todos pertencem a periódicos internacionais (PA1-1, PA1-2, PA1-4 e PA1-7). Já as publicações Qualis A2, dos dez artigos, sete apresentam-se em português e em periódicos brasileiros (Acta Scientiae, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências e Revista de Educação, Ciências e Matemática) e três em espanhol, todos pertencentes à Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (PA2-8).

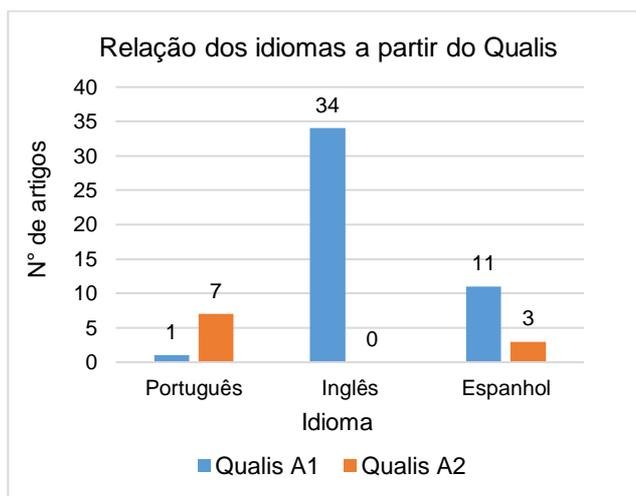


Figura 3 - Idiomas dos artigos analisados.

As Figuras 4 e 5 mostram que, das quarenta e seis publicações Qualis A1, trinta e uma (67%) pertencem ao periódico PA1-2 e oito (17%) ao periódico PA1-4, ambos do Ensino de Química, justificando assim, a grande quantidade de artigos que apresentam alguma das palavras-chave relacionadas às reações químicas de oxirredução, apresentando 69,64% do total de trabalhos selecionados. Referente ao Qualis A2, dos dez artigos analisados, quatro (40%) são do periódico PA2-6 e três (30%) do PA2-8, ambos do Ensino de Ciências.

Deste modo, devido à quantidade limitada de trabalhos presentes em periódicos nacionais, salienta-se o quão importante é esta pesquisa para o Ensino de Química, ao buscar apresentar as principais dificuldades, equívocos e concepções acerca do conteúdo de reações químicas de oxirredução.

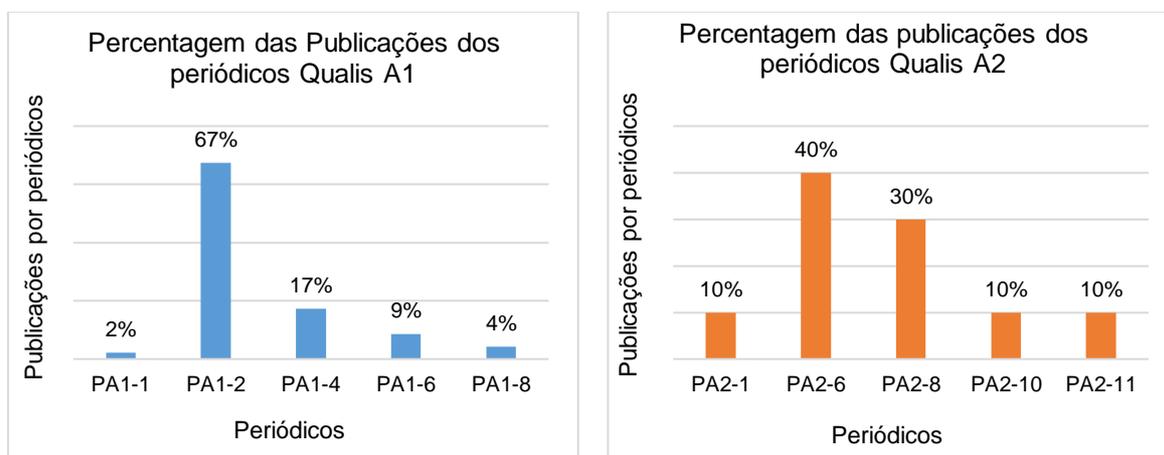


Figura 4 e 5 - Porcentagem de artigos publicados em periódicos qualis A1 e A2, respectivamente.

a) Processo de Fichamento 2

Critério V e VI – “Modelos mentais” e “reações químicas de oxirredução”

Elaborados a partir da leitura dos textos, estes critérios permitiram organizar os artigos de acordo com o grau de aprofundamento das palavras-chave contidas nos Conjuntos 1 (modelos mentais, representações mentais e imagens mentais) e 2 (oxirredução, oxidação, redução, eletroquímica, pilhas, célula galvânica, agente oxidante e redutor, número e estados de oxidação e transferência de elétrons), organizando-os em diferentes Níveis, conforme mencionados anteriormente. O Quadro 8 mostra os trabalhos presentes em cada um dos quatro Níveis estabelecidos.

Quadro 8: Identificação dos artigos por Nível.

Nível	1	2	3	4
Descrição do Nível	Conjuntos 1 e 2 com pouco aprofundamento	Conjunto 1 com pouco aprofundamento e Conjunto 2 com elevado aprofundamento	Conjunto 2 com pouco aprofundamento e Conjunto 1 com elevado aprofundamento	Ambos os Conjuntos com aprofundamento elevado
Artigo	03, 04, 05, 06, 07, 09, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54 e 55	08, 12, 29, 33 e 45	01, 10, 11, 16, 20, 41 e 56	02, 25 e 31

Conforme já mencionado, no decorrer da análise destes quatro Níveis, categorias e subcategorias emergentes foram elaboradas, desconsiderando-se aquelas formadas por apenas um artigo. Salienta-se ainda que, pelo fato de todas as cinquenta e seis publicações abordarem os modelos mentais e as reações de oxirredução, mesmo que de forma simplória e desconexa, algumas categorias e/ou subcategorias constam em mais de um Nível e que um mesmo artigo pode estar presente em mais de uma categoria e/ou subcategoria (desde que em um mesmo Nível).

A seguir, cada Nível será descrito, apresentando-se suas categorias e subcategorias criadas, bem como suas análises e discussões, as quais poderão aparecer junto às subcategorias ou posteriormente à apresentação destas.

Nível 1 - Conjuntos 1 e 2 com pouco ou nenhum aprofundamento

Dos cinquenta e seis artigos selecionados, quarenta e um encontram-se no Nível 1. Ou seja, 73,21% dos trabalhos analisados apresentam pouco aprofundamento teórico de ambos os Conjuntos de palavras-chave, visto que em algum momento do texto tais palavras apareceram de forma simplória e desconexas umas das outras, sem maiores explicações sobre ambos os assuntos. Sabe-se ainda que trabalhos com meras citações e exemplificações apresentam poucas contribuições para a área de Ensino, mas por serem objetos de estudo desta pesquisa bibliográfica, não foram excluídos, fazendo-se presentes no decorrer da análise e discussão.

A grande quantidade de artigos presentes no Nível 1 permitiu averiguar a discrepância entre as publicações nos demais Níveis formados, as quais acarretam um pouco mais de aporte teórico para ambos os Conjuntos de palavras-chave. O Quadro 9 traz as quatro categorias elaboradas para este primeiro Nível, bem como suas respectivas subcategorias.

Quadro 9: Categorias e subcategorias presentes no Nível 1.

Categoria	Subcategoria	Artigos
1 – Reações de oxirredução	1.1 – Química orgânica	06, 09, 21, 22, 23, 35, 36, 38, 44 e 52
	1.2 – Química inorgânica	17, 28, 32, 47, 48 e 54
2 – Modelos mentais	2.1 – Processo cognitivo	03, 07 e 39
	2.2 – Estratégia de ensino	03, 06, 07, 14, 19, 21, 26, 27, 28, 35, 36, 37, 38, 43, 44, 51, 53 e 55
	2.3 – Representações mentais	17, 23, 34 e 40
	2.4 – Outros conteúdos	04, 06, 13 e 32
	2.5 - Outras teorias de aprendizagem	18, 24 e 42
3. Outras pesquisas	-	03, 14, 15, 19, 22, 34, 40, 46, 47, 49, 50, 52 e 55
4. Exemplificação	-	03, 04, 05, 07, 09, 13, 18, 24, 26, 27, 30, 34, 37, 39, 42, 43, 46, 51 e 53

Percebe-se, no entanto, que nem todos os artigos fazem parte das categorias 1 e 2 - reações de oxirredução e modelos mentais - pois poderão estar presentes nas demais categorias criadas, seja por meio de uma exemplificação ou pertencentes a outras pesquisas citadas nos textos, por exemplo. A seguir, cada categoria e subcategoria serão apresentadas.

Categoria 1 - Reações de oxirredução: Formada por dezesseis artigos, esta categoria mostra a inserção deste conteúdo nas subáreas da Química, e por conta disto, duas subcategorias foram criadas – química orgânica e química inorgânica.

1.1) Química orgânica: Os artigos 06, 09, 21, 22, 23, 35, 36, 38, 44 e 52 relacionam os conceitos das reações de oxirredução à química orgânica, como por exemplo: projeção de Fischer (artigos 06 e 21), estados de oxidação de carbonos (artigos 09 e 36), reações orgânicas (artigos 22, 23, 35, 38 e 44), bem como as dificuldade encontradas pelos estudantes frente a oxidação das substâncias orgânicas (artigo 52).

1.2) Química inorgânica: seis artigos (17, 28, 32, 47, 48 e 54) utilizam tais conceitos na química inorgânica - transformações químicas (artigo 17), eletroquímica (artigo 28), transferências de elétrons em ligações iônicas (artigo 32), lei de conservação das massas (artigo 47), oxidação do iodo (artigo 48) e oxidação entre o oxigênio e o fogo (artigo 54).

Todos os artigos desta categoria apresentam a utilização dos conceitos atrelados às reações de oxirredução em diferentes subáreas da Química, como Orgânica e Inorgânica, conforme mostram os seguintes recortes dos textos:

Artigo 06: “A cadeia de carbono principal definida na nomenclatura é representada verticalmente; o carbono com o maior número de oxidação é colocado no topo do eixo vertical.” (Salah & Alain, 2016, p. 868).

Artigo 47: Com relação à reação de oxidação em um sistema fechado envolvendo como reagentes um gás e um sólido, com um grau maior de complexidade, a concepção a priori expressa na literatura revela que os estudantes podem apresentar inconsistência na aplicação da lei de conservação das massas. (Santos & Silva, 2014, p. 141).

O primeiro recorte fala sobre a variação do número de oxidação dos átomos de carbono para a projeção de Fischer, enquanto o segundo aborda a aplicação da lei de conservação das massas em reações de oxirredução. Nos dois casos, assim como os demais artigos presentes nesta categoria, há apenas citações superficiais dos conceitos que dão suporte teórico às reações de oxirredução, pois são brevemente mencionados. Em nenhum momento foram observadas explicações teóricas de como ocorre o processo de oxidação e redução nas moléculas orgânicas e nem nos demais conteúdos citados, como no caso da eletroquímica, conteúdo totalmente dependente de tais conceitos.

Com base no exposto, é possível observar a diversidade de aplicações deste conteúdo em diferentes subáreas, pois estão presentes tanto em processos orgânicos quanto inorgânicos. Por conta disto, Mendonça, Campos e Jófili (2004) relatam ser pertinente que o conceito de oxirredução na química orgânica seja uma extensão da química inorgânica, não podendo ser trabalhado de forma diferenciada e fragmentada, visto que para que haja uma melhor compreensão por parte dos estudantes, é necessário trabalhar o fenômeno da transferência de elétrons, bem como a variação do número de oxidação do carbono.

Além disso, olhando-se para as subcategorias formadas, percebe-se uma grande diferença quanto aos trabalhos presentes em cada uma delas, porque na maioria dos casos as reações químicas de oxirredução são trabalhadas na química orgânica. Porém, estes dados vão de encontro aos dados obtidos por Klein e Braibante (2017) ao analisarem as subáreas de 52 trabalhos envolvendo as reações de oxirredução, as quais averiguaram que 70% tinham como foco a química inorgânica e apenas 18% a química orgânica.

Categoria 2 - Modelos Mentais: Vinte e nove trabalhos fazem parte desta categoria, cuja finalidade é examinar como os modelos mentais são trabalhados. Os artigos estão distribuídos em cinco subcategorias, criadas para melhor explicar os dados obtidos.

2.1) **Processo cognitivo:** Formada pelos artigos 03, 07 e 39, observa-se que no primeiro os modelos mentais são vistos como uma abstração na forma em que uma pessoa imagina um problema no processo cognitivo e para o segundo e terceiro, as representações mentais levam à mudanças cognitivas a partir da experiência.

Pensando-se no ambiente educacional, Johnson-Laird (2010) explica que os modelos mentais são uma forma pessoal e individual de representar internamente o mundo externo, pois cada estudante é capaz de construir um modelo mental diferente para determinado conteúdo, passando a enxergar as possibilidades à sua frente e tirando suas próprias conclusões. Essa capacidade vai ao encontro do proposto no artigo 03, pois para que um problema seja imaginado e resolvido, é preciso que modelos mentais sejam formados na estrutura cognitiva, permitindo ao estudante ter em mente o que já fez, o que está fazendo e o que ainda falta fazer. Todavia, para que um indivíduo tenha maturidade de visualizar isso, ele deve ter experiências capazes de levar a uma mudança cognitiva por meio das representações mentais formadas.

Por estarem associados à cognição, os três trabalhos presentes nessa subcategoria confirmam que na Ciência Cognitiva os modelos mentais têm a função de ajudar as pessoas a compreenderem o que está ao redor delas, sendo impossível separá-los da cognição, porque estes modelos são representações de alto nível que facilitam o entendimento da cognição humana, isto é, fazem parte da psicologia Cognitiva (Borges, 1997; Moreira, 1996).

2.2) **Estratégia de ensino:** Formada por dezoito artigos (03, 06, 07, 14, 19, 21, 26, 27, 28, 35, 36, 37, 38, 43, 44, 51, 53 e 55), esta subcategoria enfatiza a utilização e importância das diferentes formas de representações mentais para o âmbito educacional. Ao mesmo tempo, complementa a subcategoria 2.1, em virtude da relevância da Ciência Cognitiva na utilização dos modelos mentais no processo de ensino e aprendizagem.

Para compreender o quanto as diferentes formas de representações mentais são necessárias para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, é preciso entender suas definições e o que cada uma representa, conforme já mencionado na introdução deste trabalho. Por esse motivo, considerando que as funções e os significados de cada uma diferem e que são de extrema importância para o entendimento de conteúdos abstratos, como no caso da Química, cada artigo presente nesta subcategoria será organizado conforme as diferentes formas representacionais que aborda.

Nesse contexto, considerando as representações mentais no sentido mais amplo, estas são vistas nos artigos 07, 14, 36, 37 e 44 como táticas educacionais de grande valia para o Ensino de Química e expõem que o professor é a chave principal para isso, devendo explorar as estruturas cognitivas de seus estudantes, reconhecendo seus conhecimentos, equívocos e representações mentais. No trecho em destaque do artigo 07, pode-se averiguar a importância de tais representações para o processo de ensino e aprendizagem da Química.

Artigo 07: No trabalho educacional, então, é útil ter uma visão mais ampla do que entendemos por conhecimento para abranger aquelas representações mentais de

aspectos do mundo, relevantes e importantes para o trabalho de ensinar assuntos como a química [...] (Taber, 2014, p. 450)

Já os artigos 03, 06, 26, 27, 28, 51 e 55 relatam que, por despertarem a imaginação, as imagens mentais também podem ser utilizadas como estratégias de ensino ao facilitarem a formação de modelos mentais, bem como em resoluções de problemas, como pode ser verificado a partir do seguinte trecho:

Artigo 28: Uma imagem mental auxilia na orientação de um processo de solução de problemas. (Sevian & Couture, 2018, p. 1032)

Quanto aos modelos mentais, o uso destes dão suporte a diferentes conteúdos considerados abstratos na Química (artigos 19, 21, 43 e 53), conforme exposto a seguir:

Artigo 19: Para entender as forças intermoleculares, os estudantes precisam ter um modelo mental da matéria, composto de partículas, como átomos, moléculas e íons. (Schmidt et al., 2009, p. 265).

Além disso, o artigo 35 (Sevian et al., 2015, p. 102) traz que nem sempre o raciocínio influencia a formação de modelos mentais nos estudantes, porque dependem muito das situações em que se encontram. Para finalizar, o artigo 38 defende que a experiência por meio da criatividade, do raciocínio crítico e de diferentes habilidades leva à elaboração de um modelo mental inicial, cabendo ao professor fornecer materiais para que isso seja possível.

Pelo fato de cada indivíduo raciocinar tentando encontrar possibilidades compatíveis com seus conhecimentos prévios, suas crenças e culturas, as diferentes formas de representações o ajudam a guiar o uso das coisas ou entendê-las. Por exemplo, em uma aula de Química, cujo conteúdo é “modelo atômico de Bohr”, o estudante poderá desconhecer parcial ou totalmente o assunto, apresentando nenhum ou pouco conhecimento prévio. Aos poucos passará a formar suas representações, sendo necessária compreensão linguística e percepção, conforme o grau de abstração, pois estas levam a um modelo mental e o pensamento e o raciocínio são manipulações internas dos modelos mentais.

Assim, em um primeiro momento, cada estudante formará um modelo mental de como é e como funciona este modelo atômico, podendo estar correto ou não. Conforme outros aspectos são apresentados, seus modelos serão modificados ou não, isto é, evoluirão ou não, levando a uma mudança cognitiva que pode ser a desejada pelo processo educacional.

Com base no exposto, tanto nos objetos de estudos desta pesquisa bibliográfica, como nos pressupostos teóricos que guiam a TMM, pode-se dizer que, para que as diferentes formas de representações sejam consideradas aliadas do processo de ensino e aprendizagem, o professor tem papel fundamental. É ele quem ajudará os estudantes na construção de modelos mentais mais ricos e adequados em termos de conhecimento. Borges (1999) destaca ainda que, pelo fato dos estudantes raciocinarem com base em modelos mentais, é preciso favorecer a formação deles durante o ensino e para isso o professor também deve ter em mente um modelo mental de como um modelo mental se forma.

2.3) Representações mentais: Esta categoria é composta por quatro trabalhos (17, 23, 34 e 40) que abordam as representações mentais em diferentes aspectos, seja a partir do uso de novas tecnologias ou por meio dos conhecimentos prévios dos indivíduos, como também na utilização destas para representar conceitos.

Para o artigo 17, o uso de novas tecnologias possibilita a elaboração de representações mentais no Ensino de Química. Assim, pelo fato de a Química ser uma Ciência que envolve o nível submicroscópico em relação a átomos, elétrons, íons, prótons, etc., percebe-se que na maioria das vezes, a compreensão dos conteúdos não é uma tarefa fácil e simples e, por esse motivo, Moreira (1996) afirma que as representações mentais de cada indivíduo podem ser modeladas a partir de seus comportamentos e verbalizações, mas também simulados em computadores. Essa abstração dificulta a aprendizagem e a utilização de novas tecnologias é um recurso muito importante por possibilitar a visualização microscópica dos conteúdos, como por exemplo, a transferência de elétrons entre um agente oxidante e um agente redutor.

Fernandes (2000) defende que tais recursos são uma perspectiva mais detalhada no estudo dos modelos mentais, pois permitem ao estudante fazer uma simulação mental de um determinado assunto, ajudando-lhe a desenvolver um raciocínio consistente e mais completo, tornando-o capaz de inferir, de

predizer e de explicar diversas situações. Isto é, por serem os modelos mentais construções idiossincráticas, a utilização de novas tecnologias ajuda o indivíduo a fazer comparações entre o que está sendo simulado e seus modelos mentais a partir da visualização de tudo o que a olho nu é impossível de observar e entender, auxiliando na construção de modelos mentais dos mais variados conceitos da Química e mais próximos dos modelos conceituais, além de contribuírem para que a aprendizagem seja cada vez mais significativa.

Os artigos 34 e 40 estão atrelados aos conhecimentos prévios, os quais permitem a representação de determinados conceitos. Para o primeiro, o conceito "cadeira" não é uma representação mental de uma cadeira em particular, pois para construir o conceito na mente, é preciso ver e tocar em muitas e em diferentes cadeiras, enquanto que para o segundo, quando uma pessoa menciona as palavras que definem um conceito, ela precisa recorrer às suas conceituações anteriores, podendo apresentar dois significados: o conhecimento aceito culturalmente/cientificamente e o que envolve a dimensão pessoal, referindo-se às representações mentais. Por sua vez, o artigo 23 traz a questão das representações mentais de conceitos.

Para estes, pode-se utilizar o seguinte exemplo: Se uma criança questionar sobre o pássaro parado na árvore e alguém lhe responder ser uma arara, da próxima vez que ela enxergar um pássaro qualquer, pensará que também é uma arara, pois não tem conhecimentos prévios suficientes para distinguir as diferentes espécies de pássaros. No entanto, ao ir crescendo, sua experiência permitirá diferenciá-los por cores, bicos e cantos, pois o conceito de "pássaro" não será mais uma representação mental de um único tipo de pássaro.

Conforme já relatado, as representações mentais são as diferentes formas de "re-presentar" na imaginação o mundo externo, fazendo o sujeito transformar o "real" em matéria mental, ordenando e organizando seus estímulos, produzindo sua experiência de vida, sua cultura e sua visão de mundo para conseguir representar, a partir de seus conhecimentos prévios, uma noção de "cadeira" ou de "pássaro" de uma forma diferente (Aranha, 2010). Logo, esse tipo de representação, segundo Tauceda e Del Pino (2013), origina-se a partir de interações entre os conhecimentos anteriores e os novos, as quais se transformam e se relacionam.

2.4) Outros conteúdos: Por se tratar da análise dos artigos presentes no Nível 1, com pouco aprofundamento teórico em relação a ambos os conjuntos de palavras-chave, isso contribui para que os modelos mentais sejam trabalhados a partir de outros conteúdos de Química, e não apenas envolvendo os conceitos de oxirredução, como pode ser evidenciado nos artigos 04, 06, 13 e 32.

Nesse sentido, os conteúdos desenvolvidos nos artigos que compõem esta categoria, são: ligações iônicas (artigo 04), projeção de Fischer (artigo 06), orbitais atômicos (artigo 13) e construção de moléculas (artigo 32), ressaltando-se, desta forma, a abrangência da utilização da TMM no Ensino de Ciências, especialmente em Química, podendo ser explorada a partir de inúmeros outros conceitos trabalhados nessa área e contribuindo para um processo de ensino-aprendizagem mais significativo.

Todos os conteúdos aqui citados são muito importantes para o Ensino de Química, porém apenas o artigo 04 será destacado e enfatizado, pelo fato de envolver o processo de transferência de elétrons nas ligações iônicas, característica principal das reações de oxirredução. Assim como nas ligações iônicas, uns dos conceitos associados às reações de oxirredução baseia-se na transferência de elétrons de uma espécie para outra, ocasionando, respectivamente, na perda e ganho de elétrons das espécies envolvidas (Sartori, Batista & Filho, 2008). Entretanto, é importante esclarecer que esse tipo de reação química não acontece somente entre substâncias iônicas, mas também em substâncias moleculares, verificada em diversas reações orgânicas, como por exemplo, o teste do bafômetro que leva a oxidação do etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) a aldeído (CH_3CHO), duas substâncias moleculares (Braathen, 1997).

2.5) Outras teorias de aprendizagem: Os artigos 18, 24 e 42 presentes nesta última subcategoria, relacionam a Teoria dos Modelos Mentais a outras teorias de aprendizagem.

Os artigos 18 e 42 fazem relação à Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. O primeiro fala da construção de conceitos científicos a partir da conexão entre o campos conceituais e as representações mentais, e o segundo, da resolução de problemas na construção de um modelo mental científico. Outra associação foi observada no artigo 24 por meio da Teoria da Aprendizagem significativa (TAS) de Ausubel, ao relatar que este tipo de aprendizagem só é alcançada quando os estudantes se envolvem em um processo cognitivo apropriado, integrando as representações mentais com os conhecimentos prévios.

Com base na Teoria dos Campos Conceituais, a organização do conhecimento se dá a partir de “campos conceituais”, cujo domínio ocorre em um longo período de tempo, por meio da experiência, maturidade e aprendizagem (Moreira, 1996). Dentre os conceitos-chave desta teoria, encontram-se as representações computáveis para gestos e ações do mundo, bem como para comportamentos verbais e interações sociais, as quais podem ser corretas ou não e, devido a isso, estão relacionadas aos modelos mentais, pois ambas fazem inferências, isto é, preveem futuros eventos, geram ou evitam condutas (Moreira, 2002).

Fazendo-se um comparativo entre as duas teorias, pode-se dizer, segundo Moreira (2002), que os modelos mentais possuem os teoremas-em-ação, que são proposições tidas como verdadeiras sobre o real e, à medida que o sujeito adquire conhecimentos científicos, seus modelos mentais aproximam-se dos modelos científicos. Nesse sentido, a resolução de problemas tem como objetivo analisar as dificuldades dos estudantes em termos de teoremas-em-ação, pois buscam verificar os modelos mentais construídos frente a uma nova situação, permitindo observar a evolução dos modelos explicativos dos mesmos ao longo de uma atividade de ensino (Moreira, 2002, 1996; Carvalho Jr & Aguiar Jr., 2008).

Já em relação à Teoria da Aprendizagem Significativa, é pertinente expor que os modelos mentais apresentam as visões das pessoas acerca da realidade em que se encontram e, para isso, as concepções pessoais são muito importantes, pois suas interações com o ambiente, com as outras pessoas e com os artefatos tecnológicos, possibilitam aos indivíduos formarem, internamente, seus modelos mentais (Norman, 1983). Portanto, o fator mais importante no processo de ensino e aprendizagem é considerar a bagagem de conhecimento do indivíduo, pois a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante de sua estrutura cognitiva (Moreira, 1997).

Para Moreira (1996), a aprendizagem significativa implica na construção de modelos mentais. Nesse sentido, de acordo com a importância das representações mentais para o processo cognitivo e considerando suas limitações com os conhecimentos prévios, ambas as teorias acabam se relacionando, pois quando uma pessoa é capaz de explicar e fazer previsões sobre um sistema, é porque tem um modelo mental desse sistema, ou seja, possui uma representação mental análoga a ele em termos estruturais e isso é evidência de aprendizagem significativa (Moreira, 1997). Moreira e Lagreca (1998) afirmam ainda que, quando um estudante não constrói um modelo mental de um determinado estado de coisas, suas representações mentais não são muito elaboradas e nem indicam indícios de aprendizagem significativa, mas quando é capaz de formar modelos mentais com algum poder explicativo, coerentes com os modelos conceituais aceitos, daí sim esse tipo de aprendizagem será evidenciada.

Seja a partir da relação com a Teoria dos Campos Conceituais ou com a Teoria da Aprendizagem Significativa, em ambos os casos estas objetivam entender como se dá a aprendizagem em um ambiente educacional. Quando atrelada a outras teorias, isto é, a um outro viés, a TMM torna-se mais abrangente e significativa para compreender como ocorre o conhecimento nos indivíduos a partir das suas percepções, entendimentos e interpretações.

Categoria 03 - Outras pesquisas: Esta categoria apresenta os artigos 03, 14, 15, 19, 22, 34, 40, 46, 47, 49, 50, 52 e 55, os quais possuem as palavras-chave relacionadas aos modelos mentais ou às reações químicas de oxirredução, porém mencionadas a partir de outras pesquisas, sem nenhum aprofundamento teórico envolvendo os assuntos citados.

Alguns trabalhos, no entanto, por possuírem mais vezes palavras-chave relacionadas aos Conjuntos 1 e 2, encontram-se inseridos em mais de uma categoria, como pode ser verificado a presença do artigo 03 nas categorias “modelos mentais” e “outras pesquisas”, pois há mais vezes o aparecimento de palavras relacionadas aos modelos mentais no texto. Na presente categoria, os modelos mentais são mencionados por outros autores no decorrer do artigo 03, como mostra o trecho:

Artigo 03: Christian e Talanquer (2012) estudaram as abordagens de raciocínio usadas por estudantes de graduação [...]. Eles observaram quatro abordagens de raciocínio nos estudantes: [...] (3) raciocínio baseado em regras depende de padrões de comportamento induzido a partir de experiências ou modelos mentais [...]. (Sevian et al., 2015, p. 430).

Por outro lado, no artigo 15, a única vez que é encontrada uma palavra que faz menção às reações de oxirredução é por meio de uma referência utilizada no texto e por isso esse artigo não está presente na categoria das reações de oxirredução. A partir do trecho a seguir é possível verificar o exposto.

Artigo 15: Belt et al. (2005) por exemplo, desenvolveram uma abordagem baseada no contexto para ensinar aspectos da termodinâmica, cinética e eletroquímica aos cursos de graduação iniciais. (Tsaparlis & Finlayson, 2014, p. 263)

O artigo 49, todavia, está presente apenas nesta categoria. O mesmo faz uma análise sobre o Ensino de Química no Brasil e apresenta nos títulos das dissertações e teses encontradas, palavras relacionadas a ambos os Conjuntos de palavras-chave. Por exemplo, alguns dos objetos de estudo analisados neste artigo foram os trabalhos intitulados “Modelos mentais e visualização molecular: uma estratégia para ensinar química orgânica” e “O conceito de oxidação nos livros didáticos de química orgânica do Ensino Médio”. Ou seja, os títulos estão presentes no decorrer do texto do artigo 49 apenas. O mesmo é constatado nos artigos 40 (referente ao Conjunto 2 de palavras-chave) e 50.

Categoria 04 - Exemplificação: Encontram-se nesta categoria um total de dezenove artigos e esta baseia-se nos exemplos utilizados pelos autores, atrelados às palavras-chave, principalmente do Conjunto 2, pois, exceto o artigo 09, todos os demais exemplificam a partir de conceitos presentes nas reações de oxirredução. Os exemplos encontrados estão elencados no Quadro 10 a seguir.

Quadro 10: Exemplos citados nos artigos presentes no Nível 1 a partir da Categoria 4.

Exemplos		Artigo(s)
Oxidação de/o:	Oxigênio	07
	Álcoois	03
	Ácido benzoico	18
	Átomos de carbono	09
	Ferro	34, 37, 39, 42 e 43
	Ozônio (O ₃)	30
Eletroquímica	-	27, 46, 51 e 53
Redução da acetona	-	05
Oxidação – redução	Reações	24 e 26
	Transferência de elétrons	04
	Anódica reversível	13
Modelos mentais	-	09

Por mais que sejam apenas exemplos, não trazendo maiores contribuições para esta pesquisa bibliográfica, ajudam a mostrar a versatilidade das reações de oxirredução, pois sua aplicabilidade no meio científico e industrial é extremamente ampla, tanto em extrações de metais em minérios como em sínteses orgânicas, sem falar na importância das pilhas e baterias. Atkins e Jones (2012) contribuem para justificar essa pluralidade estabelecida a partir dos exemplos aqui encontrados ao afirmarem que muitas reações comuns, como a combustão, a corrosão, a fotossíntese e o metabolismo dos alimentos, por mais que pareçam completamente diferentes, ao examinadas em um nível molecular, sob a óptica de um químico, pode-se ver que são exemplos do mesmo processo, ou seja, de oxirredução.

Fazendo-se uma análise geral do Nível 1, averigua-se que, por mais que seja um Nível longo em consequência da quantidade de artigos nele presente, em nenhum momento no decorrer das leituras foram encontradas relações entre as palavras-chave contidas nos Conjuntos 1 e 2, isto é, todos os artigos contemplam em algum momento algumas destas palavras, mas são completamente independentes, sem nenhuma relação. Além do mais, estes artigos não tratam do conteúdo das reações químicas de oxirredução e nem da Teoria dos Modelos Mentais diretamente, pois não tinham seus títulos e objetivos atrelados a estas.

Nível 2 – Conjunto 1 com pouco aprofundamento e Conjunto 2 com elevado aprofundamento

No Nível 2, bem como no Nível 1, não há ou há pouca interação entre os dois conjuntos de palavras-chave, visto que somente o Conjunto 2, relacionado às reações químicas de oxirredução, possui um pouco mais de aprofundado teórico quando comparado ao primeiro. Ou seja, as palavras identificadoras dos

modelos mentais aparecem de forma sucinta e não contemplam muitas explicações sobre, ao contrário das reações de oxirredução, as quais encontram-se mais presentes e explanadas nos textos.

Do total de trabalhos selecionados, cinco artigos (08, 12, 29, 33 e 45) constam neste Nível, 8,77%, abrangendo duas categorias – dificuldades e estratégias de ensino – a primeira relaciona-se às reações de oxirredução e a segunda, aos modelos mentais (Quadro 11).

Quadro 11: Categorias e subcategorias presentes no Nível 2.

Categoria	Artigos
1 – Dificuldades	08, 12, 29, 33 e 45
2 – Estratégias de ensino	08, 12, 29, 33 e 45

Baseando-se na leitura interpretativa dos textos, a seguir cada uma destas categorias serão descritas e analisadas.

Categoria 01 - Dificuldades: Formada a partir das palavras-chave do Conjunto 2 e, por envolver artigos que apresentam aprofundamento teórico sobre as reações de oxirredução, bem como de conteúdos e conceitos diretamente relacionados a elas, todos os artigos que compõem este Nível encontram-se nesta categoria e abordam as dificuldades encontradas pelos estudantes sobre este assunto.

No artigo 08, os autores Kelly *et al.* (2017) examinaram o entendimento dos estudantes de química geral sobre simulações moleculares envolvendo um processo de oxirredução entre cobre sólido e nitrato de prata aquoso. Com isso, os autores concluíram que na ausência de simulações, devido à abstração dos conceitos presentes nesta reação, os estudantes apresentaram muita dificuldade em construir representações ricas em detalhes de nível molecular e, muitas vezes, não conseguiram distinguir átomos de íons ou moléculas da reação trabalhada.

Brandriet and Bretz (2014), artigo 12, investigaram o entendimento dos estudantes de química geral sobre oxirredução a partir de um aplicativo avaliativo destas reações - ROXCI. A análise feita pelos autores a partir dos dados obtidos baseou-se na pontuação total das respostas, bem como na confiança dos estudantes na hora de responder as perguntas. Três grupos foram identificados nos resultados: estudantes com (1) pontuação total moderada e alta confiança, (2) pontuação total baixa e baixa confiança e (3) pontuação total baixa, mas alta confiança. Todavia, foi constatado que nos três grupos os sujeitos apresentaram conceitos errôneos em relação a número de oxidação e transferência de elétrons.

Quanto ao artigo 29 (Akkuzu & Uyulgan, 2016), os autores procuraram determinar os níveis de compreensão conceitual de graduandos do curso de Química em relação aos compostos orgânicos em diferentes grupos funcionais. Os resultados mostraram baixos níveis de compreensão, além conceitos errôneos. Tais dificuldades estavam relacionadas à falta de compreensão de conteúdos de química geral, como por exemplo, oxidação e redução, impossibilitando-os de conseguirem transferir com precisão seus conhecimentos para aprender sobre química orgânica.

Desenvolvido por Guerrero, Guerrero e Ramos (2018), no artigo 33 foi realizado um estudo sobre a influência do uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no processo de ensino e aprendizagem de reações de oxirredução. Logo, por ocorrerem em nível microscópico entre átomos, íons e elétrons, os resultados encontrados pelos pesquisadores mostram as dificuldades dos estudantes em compreender os processos envolvidos nestas reações químicas, visto que diversos conceitos errôneos foram observados. Estes contribuem para induzir os estudantes a erros de interpretação e compreensão do processo.

Dow (2018) - artigo 45 – pesquisou o desenvolvimento das habilidades de resolução de problemas dos estudantes de Química da cidade de Taiwan sobre eletroquímica. O trabalho envolveu o uso de simulações sobre atividades experimentais, sendo possível detectar que, na ausência destes recursos, os estudantes apresentam dificuldades para entender o conteúdo.

Conforme exposto, constata-se que todos os autores presentes nesta categoria preocuparam-se com as dificuldades atreladas às reações de oxirredução. Todavia, dois destes artigos relacionam os

conceitos utilizados em tais reações a partir de outros conteúdos, como no caso da eletroquímica (artigo 45) e dos grupos funcionais orgânicos (artigo 29).

No caso da eletroquímica, deve-se considerar que o entendimento deste conteúdo está diretamente relacionado às reações químicas de oxirredução, pois a produção de corrente elétrica gerada resulta da transferência eletrônica entre as diferentes espécies químicas. Por envolver o entendimento do mundo físico, o conteúdo de eletroquímica é muito importante, possibilitando o estabelecimento de conexões com o cotidiano do estudante, suas experiências diárias e seus conhecimentos prévios. Porém, é considerado um conteúdo de difícil compreensão em consequência da abstração dos conceitos de oxidação e redução, corrente elétrica, transferência de elétrons e potencial de redução (Sanjuan, Santos, Maia, Silva & Wartha, 2009) e, por isso, o uso de novas tecnologias para melhor elucidá-los é essencial no processo de ensino e aprendizagem.

Relacionado à química orgânica, o artigo 29 aborda os entendimentos e equívocos acerca do processo de redução e oxidação em grupos funcionais. Anselme (1997) relata que sua experiência como professor de química orgânica lhe mostrou o quanto o entendimento sobre oxidação e redução é de difícil compreensão para os estudantes nesta subárea. Para ele, o domínio de conceitos e definições, como perda e ganho de elétrons, é relativamente simples, porém, em química orgânica pode ser muitas vezes frustrante para o estudante. Um dos motivos que pode subsidiar tal dificuldade, segundo Menzek (2002), é a transferência de elétrons de um átomo para outro em compostos covalentes, como por exemplo, em moléculas orgânicas.

Klein e Braibante (2017) corroboram ao argumentarem que o mecanismo das reações de oxirredução em compostos orgânicos é diferente quando comparado ao dos compostos inorgânicos, e que isso não vem sendo explorado por conta dos diversos modelos explicativos dessas reações, como modelo de elétrons, modelo do número de oxidação, modelo do oxigênio e modelo do hidrogênio.

Menciona-se ainda que, dificilmente, os processos de oxidação e redução são trabalhados na química orgânica, pois, na maioria das vezes, os professores consideram que os estudantes já tiveram embasamento teórico em disciplinas de química geral ou afins. No entanto, o estudante não tem conhecimento suficiente para fazer (sozinho) as integrações e relações desse conteúdo com as demais subáreas da Química, afetando suas experiências de aprendizagem subsequentes e, por isso, essa discussão é importante.

Já os artigos 08, 12 e 29 complementam-se ao exporem que os estudantes apresentam conceitos errôneos sobre oxirredução. O primeiro aborda que o entendimento dessas reações é visto como um desafio para os estudantes devido à dificuldade em conceituá-las. Além disso, por ser um conteúdo de difícil compreensão, o artigo 12 fala dos diversos equívocos e dificuldades dos estudantes frente às mudanças de valores do número de oxidação. Quanto ao último artigo, por apresentarem conceitos errôneos e baixo entendimento sobre estas reações desde a Química Geral, os graduandos não conseguem fazer as relações necessárias com a Química Orgânica.

Os artigos 08, 33 e 45, por sua vez, relacionam a dificuldade dos estudantes à abstração dos conceitos de nível microscópico e defendem o uso de novas tecnologias para melhorar a aprendizagem das reações de oxirredução.

Estas dificuldades vão ao encontro dos resultados obtidos em inúmeras outras pesquisas que procuraram investigar as dificuldades atreladas a estas reações nos diferentes níveis de ensino, tanto com estudantes quanto com professores da área. Como: De Jong, Acampo and Verdonk, 1995; Österlund, Berg and Ekborg, 2010; Klein, 2016 e Aydin and Boz, 2013.

Categoria 02 – Estratégias de ensino: Esta categoria abarca o Conjunto 1, isto é, os modelos mentais e, assim como a categoria anterior, contempla todos os artigos presentes neste segundo Nível. Todavia, os modelos mentais são vistos sucintamente, não sendo constado nenhum aprofundamento teórico relevante.

Considerando a importância que o uso de novas tecnologias possui para a construção dos modelos mentais, os artigos 08, 12, 33 e 45 destacam a relevância destas para o desenvolvimento de modelos coerentes e que integram os diferentes fenômenos químicos, como no caso das reações de oxirredução.

Brandriet and Bretz (2014) mostram no artigo 12 que as dificuldades de aprendizagem auxiliam na formação de modelos mentais errôneos e, para isso, Guerrero, Guerrero e Ramos (2018) e Akkuzu and Uyulgan (2016) – artigos 33 e 29 – defendem a utilização de novas tecnologias capazes de ajudar o estudante a relacionar o teórico com o prático, reestruturando seus modelos mentais.

Moreira (1996) explica que os modelos mentais muitas vezes podem ser deficientes, com elementos desnecessários, errôneos ou contraditórios, relacionados aos conceitos cientificamente aceitos. No entanto, segundo o autor, é preciso que sejam desenvolvidos modelos conceituais, bem como materiais e estratégias instrucionais que ajudem o aprendiz a construir modelos mentais adequados. Para isso, o professor possui papel fundamental, pois é ele quem vai buscar desenvolvê-los, ajudando o estudante a construir modelos mentais cada vez mais próximos dos conceituais, tornando a aprendizagem mais significativa.

Em relação às novas tecnologias, Johnson-Laird (2013) defende que a utilização destas permite ao estudante prever possibilidades e alternativas frente aos problemas que o são impostos. No entanto, isso depende muito da forma como estas tecnologias são utilizadas, além das habilidades espaciais de cada indivíduo, pois são ferramentas de apoio, capazes de projetar um modelo de um sistema real e, respectivamente, possibilitam que o estudante descreva seu comportamento e funcionamento.

Além disso, os artigos 12 e 29 mencionam ainda que quando o professor contribui para a evolução dos modelos mentais de seus estudantes, múltiplos modelos passam a ser formados em relação ao que está sendo proposto em sala de aula, tornando a imaginação mais ampla para a construção de representações cada vez mais próximas aos modelos conceituais. Assim, durante este processo, é preciso considerar que os modelos mentais são essenciais para a compreensão da cognição humana, mas ao mesmo tempo são instáveis e, a partir de novas experiências, percepções e interpretações, são modificados, sendo impossível existir um único modelo para um determinado estado de coisas, mas sim vários, mesmo que apenas um deles represente de maneira ótima esse estado de coisas (Moreira, 1996; Moreira & Lagreca, 1998).

Percebe-se, no entanto que, por mais que nenhum destes cinco artigos presentes no Nível 2 tenham um bom e amplo referencial teórico sobre os modelos mentais, ainda assim é possível constatar a importância que estes possuem no âmbito educacional. As poucas palavras que fazem referência aos modelos mentais confirmam que a utilização destes é uma ótima estratégia para o processo de ensino e aprendizagem, especialmente para a Química, por ser esta uma Ciência abstrata.

Nível 3 - Conjunto 2 com pouco aprofundamento e Conjunto 1 com elevado aprofundamento

Ao contrário do Nível 2, este Nível possui maior aprofundamento em relação aos modelos mentais quando comparado às reações de oxirredução e, por isso, os artigos apresentam as palavras-chave referentes aos modelos mentais com maior detalhamento teórico. Sete artigos compõem este Nível 3 (01, 10, 11, 16, 20, 41 e 56), os quais estão presentes em 3 categorias (Quadro 12).

Quadro 12: Categorias e subcategorias presentes no Nível 3.

Categoria	Artigos
1. Estratégia de ensino	01, 11, 16, e 56
2. Modelos	10, 20 e 41
3. Exemplificações	01, 10, 11, 16, 20, 41 e 56

Categoria 1 - Estratégia de ensino: Bem como a subcategoria 2.2 presente no Nível 1, os artigos que formam esta subcategoria - 01, 11, 16, e 56 - apresentam as representações mentais como uma estratégia positiva para o processo de ensino e aprendizagem.

No artigo 01, Schönborn and Anderson (2010) apresentam como as representações externas ajudam a descrever e a comunicar o conhecimento científico no mundo externo por meio de simulações e realidade virtual. Expõem ainda que tais representações são importantes para o desenvolvimento da capacidade cognitiva dos estudantes, pois contribuem para o desenvolvimento de modelos mentais mais completos.

Já os artigos 11, 16, e 56 mostram os modelos mentais como essenciais para o processo de ensino e aprendizagem em Química, levando à compreensão, ao raciocínio e à previsões dos conceitos químicos, como por exemplo, a partir dos níveis macroscópicos, simbólicos e microscópicos.

Os modelos mentais são vistos no artigo 11 (Körhasan & Wang, 2016) como uma maneira de representar o conhecimento de um indivíduo, os quais possuem função semelhante às simulações computacionais ao permitirem simular na mente, prevendo resultados e facilitando a resolução de problemas. Deste modo, no âmbito educacional, estes autores defendem a construção de modelos mentais sobre o mundo atômico, pois, assim como a estrutura atômica é um conceito importante para a Química, o professor deve buscar ajudar o aprendiz a entendê-la, possibilitando-o a construir estruturas de conhecimento mais coerentes e organizadas, isto é, modelos mentais sobre o mundo atômico, porque eles podem apoiar a compreensão, o raciocínio e as previsões sobre outros conceitos. No entanto, é preciso considerar que os modelos mentais formados neste processo podem ser corretos ou não. A investigação de modelos corretos e incorretos é importante para melhorar a aprendizagem dos estudantes, possibilitando a criação de materiais que minimizem seus erros e, conseqüentemente, ajudando-os a construir modelos mentais mais próximos do conhecimento cientificamente aceito (Körhasan & Wang, 2016).

Al-Balushi and Al-Hajri (2016) apontam no artigo 16 que as representações externas, como por exemplo, as simulações, ajudam o estudante a visualizar o que os químicos visualizam, familiarizando-o com entidades submicroscópicas invisíveis e fazendo-o formar modelos mentais adequados, facilitadores do aprendizado desejado na química e que permitam a tradução dos três níveis representacionais da química: macroscópica, simbólica e submicroscópica. Além do mais, não ser capaz de pensar em fenômenos químicos a partir dos três níveis simultaneamente é a fonte de muitos equívocos na química, corroborando para que muitos estudantes não consigam construir modelos mentais adequados.

Santos *et al.* (2017) – artigo 56 – falam que os modelos mentais e visuais são utilizados em diversas áreas da Ciência, mas que na área da Química seu uso é essencial, como por exemplo, para o ensino de teoria atômica, uma vez que não há comprovação e convicção de que o átomo exista ou como ele seja. Para estes, os modelos são parecidos com as analogias, criados para explicar determinados fenômenos, pois são construídos a partir do discurso e da percepção.

Baseando-se nos artigos presentes nesta categoria, com exceção do artigo 01, todos os demais expõem a compreensão científica dos conhecimentos químico a partir das representações mentais. Nesse sentido, é pertinente relembrar que as representações podem ser classificadas em externas ou internas e que cada indivíduo transforma as representações externas em internas, utilizando-as para raciocinar sobre o mundo externo.

Por permitirem ao estudante de visualizar internamente o conhecimento científico, o uso das representações externas e dos modelos mentais é de suma importância para o processo de ensino e aprendizagem. Por conta disto, pode-se dizer que as representações externas são uma ponte para a construção de melhores modelos mentais. Além disso, mesmo que de forma indireta, também apresentam a relevância dos fenômenos microscópicos para a aprendizagem pois, por se tratar de uma ciência que, em grande parte, é abstrata e complexa, a construção de modelos mentais envolvendo o mundo atômico possibilita o entendimento dos demais conteúdos de Química. No caso das reações químicas de oxirredução, entender a transferência dos elétrons entre os átomos participantes das reações torna a aprendizagem mais complicada ainda, visto que envolvem a movimentação de algo que o estudante não consegue visualizar, tornando-se difícil o entendimento.

Corroborando com esta ideia, Julián, Crespo y Pozo (2002) afirmam que um dos objetivos do Ensino de Química é permitir aos estudantes a interpretação dos fenômenos macroscópicos a partir dos microscópicos, mas para que isso seja possível, é necessário considerar os três níveis de representações - 1) macro e tangível, 2) molecular e invisível e 3) simbólico e matemático - de uma só vez, relacionando-as, como se cada uma fosse um canto de um triângulo, sem nenhuma ser superior a outra, pois o primeiro nível trata dos fenômenos observáveis; o segundo abrange aquilo que não é visto a olho nu; e o último é uma linguagem científica da Química, representada por gráficos, símbolos e fórmulas (Johnstone, 2009). Para que o estudante possa entender está Ciência, ele precisa ter conhecimento de cada um destes níveis, porém nem sempre isso é possível. Observar as mudanças visíveis numa reação química aparenta ser muito fácil e interessante, mas quando o assunto recai no que está acontecendo para que tais mudanças ocorram, encontra-se aí um obstáculo e um dos principais motivos para que muitos passem a considerar esta Ciência difícil.

Os estudantes, em geral, possuem dificuldade de compreensão dos conteúdos químicos, principalmente em relação às representações submicroscópicas e simbólicas, e por isso a relevância em buscar entender como suas representações são formadas e construídas (Gibin & Ferreira, 2012). Isso se dá pelo fato de que a abstração dos conceitos químicos contribui para que eles não consigam representar mentalmente a compreensão submicroscópica e simbólica exigidas. Ou seja, a natureza abstrata da química e a necessidade do estudante de desenvolver um entendimento pessoal da matéria, faz com que o uso das representações mentais seja capaz de fazer uma mobilidade entre os níveis macroscópicos, submicroscópicos e simbólicos (Damasceno *et al.*, 2008). Na Química, Gibin e Ferreira (2012) explicam que os modelos mentais são desenvolvidos com o intuito de estabelecerem relações entre estes níveis.

Considerando-se esses três níveis representacionais, na perspectiva de Al-Balushi and Al-Hajri (2016, p. 53-54), para que a representação destes fenômenos seja possível, algumas habilidades cognitivas são vistas como determinantes para compreensão e interpretação das representações externas pelos estudantes, como: compreensão das informações simbólicas; usar representações para explicar fenômenos, fazer previsões e resolver problemas; manipular representações espacialmente; incorporar representações internas (modelos mentais) para produzir uma representação externa apropriada; explicar por que uma determinada representação é mais apropriada do que outras para um determinado fenômeno; ser capaz de avaliar as limitações de uma determinada representação.

Categoria 2 - Modelos: Conforme o andamento da leitura das obras presentes nesta categoria, os artigos 10, 20 e 41 possuem em comum diferentes classificações para a palavra “modelo”.

O artigo 10 classifica os modelos em: mentais, que são uma representação pessoal; expressos, os quais são uma representação externa de algo gerado a partir dos modelos mentais e expresso através de qualquer modo de representação, como ação, fala ou escrita; de consenso, aqueles que são testados e aceitos pela comunidade científica; e, por último, de ensino, aqueles que são construídos e usados por professores, a fim de ajudar os estudantes a compreenderem um modelo de consenso.

Algumas dessas classificações são observadas também no artigo 20, pois dividem o termo “modelo” em: internos (de cada indivíduo); e de consenso (compartilhados pelos cientistas). Expõe ainda que há diferença entre os modelos mentais de estudantes e especialistas, sendo os destes últimos muito mais próximos dos modelos de consenso.

Ao trazer a questão da polissemia da palavra “modelo”, o artigo 41 distingue entre: modelo científico explícito, referente aos conteúdos presentes em textos, como publicações, livros didáticos etc., os quais estabelecem uma comunicação entre o sujeitos especialistas e o novatos; e modelo mental, como sendo um mecanismo de pensamento através do qual um indivíduo tenta explicar como funciona o mundo real. É exposto também que especialistas constroem seus “modelos mentais especializados” ao longo de sua formação profissional e isso não acontece com os novatos.

A partir das diferentes classificações que envolvem o termo modelo, é observado um consenso entre os modelos mentais/internos, pois em todos os casos são conceitualizados como modelos idiossincráticos, formados na mente de cada indivíduo.

Outro modelo elencado por estes trabalhos e, de suma importância, é o conceitual, pois são modelos que ajudam os estudantes a construir melhores modelos mentais, organizando e integrando o novo conhecimento (Borges, 1997).

Justi (2003, 2010) afirma que cientistas das mais variadas áreas utilizam definições diferentes para o termo modelo. No entanto, alguns dos significados podem ser: 1) representação parcial de um objeto, um evento, um processo ou uma ideia; 2) utilizado com uma finalidade específica, como por exemplo, facilitar a visualização de algum aspecto, favorecer o entendimento, promover a elaboração de previsões e o desenvolvimento de novas ideias) e 3) passível de modificações. Deste modo, antes de querer usá-lo, deve-se entender o que pode e o que não pode ser um modelo. Assim, conforme já mencionado nesta pesquisa, o uso de modelos para a construção do conhecimento é extremamente importante, tendo um papel significativo por contribuir para que, no Ensino de Química, os estudantes possam aprender o “real” teoricamente.

Categoria 3 - Exemplificações: Esta categoria é formada por todos os artigos presentes neste Nível e baseia-se no Conjunto 2 de palavras-chave, pois está relacionada às reações de oxirredução.

A presença dos conceitos que contribuem para a construção deste conteúdo no decorrer das obras presentes neste Nível é extremamente sucinta, sendo averiguado apenas a utilização de breves exemplos. Algumas exemplificações estão presentes no Quadro 13:

Quadro 13: Exemplos citados nos artigos presentes no Nível 3.

Exemplos	Artigo(s)
Potenciais redox	01
Eletroquímica	56
Estados de oxidação	10
Oxidação	41
Célula galvânica	11
Reações de oxirredução	16 e 20

Este terceiro Nível, além das exemplificações encontradas nos textos sobre oxirredução, não apresentou nenhum aprofundamento teórico envolvendo as reações químicas de oxirredução. Por outro lado, assim como verificado no Nível 2, foi possível constatar as contribuições, bem como a relevância que os modelos mentais possuem no Ensino de Química, ao permitirem a representação pessoal dos níveis macroscópicos, submicroscópicos e simbólicos presentes nos modelos conceituais dos conteúdos de Química.

Nível 4 - Aprofundamento elevado das palavras - chave contidas no Conjunto 1 e 2

Olhando-se para todas as publicações que constam nesta pesquisa bibliográfica, dos cinquenta e seis artigos selecionados, apenas 3 compõem o Nível 4. Os artigos 02, 25 e 31 apresentam ambos os Conjuntos de palavras-chave com elevado aprofundamento teórico, bem como relações entre um e outro, isto é, entre os modelos mentais e os modelos conceituais envolvendo as reações químicas de oxirredução.

Por conta disto, ao contrário do que foi realizado nos demais Níveis, a análise não será feita por meio de categorias, mas cada artigo será discutido de acordo com suas contribuições, tanto em relação aos modelos mentais quanto para com os conceitos envolvendo o conteúdo de oxirredução.

De modo geral, os objetivos de cada artigo são: VanReken *et al.* (2013) buscaram investigar no artigo 02 as concepções de estudantes universitários sobre a formação de ozônio (O_3) e o seu papel na atmosfera, além de identificar as concepções ingênuas associadas a este; No artigo 25, Supasorn (2015) desenvolveu experimentos de eletroquímica para trabalhar com o nível submicroscópico com trinta e quatro estudantes do ensino médio, os quais foram avaliados por pré e pós testes conceituais e por desenhos sobre o conteúdo; Por último, no artigo 31, Ouasri (2017) investigou as dificuldades dos estudantes sobre células de cobre-alumínio a partir de resoluções de problemas.

Estes três artigos possuem seus objetivos centrados na busca pelas concepções ingênuas e errôneas dos estudantes, bem como suas dificuldades em relação aos diferentes conteúdos atrelados às reações químicas de oxirredução. No entanto, para que estes objetivos fossem alcançados, os autores precisaram investigar os modelos mentais dos estudantes.

Nesse sentido, os artigos 02 e 25 relacionam os modelos mentais com os modelos conceituais a respeito dos conceitos envolvidos nas reações químicas de oxirredução a partir da mudança conceitual dos sujeitos.

A mudança conceitual, segundo VanReken *et al.* (2013), é um processo que depende das experiências de vida e conhecimento dos indivíduos para que possam construir novos saberes e entendimentos de como o mundo funciona. Os autores definem ainda que os conhecimentos incorretos são conhecidos como "equivocos" ou "concepções ingênuas", pois estão em conflito com as visões científicas aceitas. O foco do artigo 02 está no entendimento conceitual dos alunos sobre a formação de ozônio e essa compreensão conceitual é definida como modelos mentais do estudante.

Na mesma linha de raciocínio, Supasorn (2015) relata que, por ser um conteúdo que envolve transferência de elétrons entre diferentes espécies químicas e que a quantidade de transferência depende da concentração das espécies presentes, as concepções alternativas acabam sendo variadas por ser este um assunto complexo e de difícil visualização dos níveis microscópicos e, por isso, identificar os equívocos é importante para ajudar no entendimento desses tópicos de maneira significativa, levando a uma mudança conceitual.

Corroborando com essa ideia, Borges (1999) destaca que os modelos usados na Ciência são criados por cientistas após submetidos a inúmeras regras rigorosas e à crítica. No entanto, contrastando com o caráter público dos modelos científicos, os modelos mentais são pessoais e, conseqüentemente, pode-se dizer que são incompletos, instáveis e “não-científicos”. Assim, é possível verificar no decorrer das obras que a relação existente entre modelos mentais e conceituais permite ver o quão distantes os modelos mentais formados pelos estudantes estão dos modelos cientificamente aceitos.

A investigação desse distanciamento possibilita buscar meios de torná-los cada vez mais próximos. Isto é, os modelos mentais elaborados pelos estudantes corroboram para que suas dificuldades, equívocos e concepções ingênuas/alternativas sejam solucionadas. Portanto, quanto mais próximos dos modelos conceituais os modelos mentais estiverem, mais corretos serão. Porém, quando a distância entre eles for elevada, pode significar que há lacunas na aprendizagem.

Devido a esse distanciamento entre modelos mentais e conceituais, VanReken *et al.* (2013) conseguiram identificar três principais concepções ingênuas a partir dos modelos mentais dos estudantes em relação à formação do ozônio: 1) existe apenas um mecanismo atmosférico de formação de ozônio; 2) poluentes e gases só reagem no alto na atmosfera; e 3) que preocupações com o ozônio na atmosfera devem-se principalmente ao seu papel como gás de efeito estufa. Ou seja, todas essas concepções ingênuas identificadas estão relacionadas ao ozônio, mas a formação deste depende de reações de oxirredução e para que este processo seja compreendido pelos estudantes, conceitos como oxidação e redução, mudanças de números de oxidação e transferência de elétrons são muito importantes. Todavia, os estudantes não possuem uma compreensão conceitual sobre as reações necessárias para a formação do ozônio, fato este que os impede de formarem modelos mentais corretos e de fazerem relações com as reações de oxirredução.

Já Supasorn (2015) constatou, a partir dos desenhos realizados pelos estudantes sobre células galvânicas, que muitos estudantes apresentaram concepções errôneas sobre cátodos e ânodos, processos de oxidação e redução, bem como transferência de elétrons, conceitos básicos presentes nas reações químicas de oxirredução. Isso consiste, segundo Moreira (1996, p. 223), com o fato de que os modelos mentais são formados na cabeça de cada indivíduo, e a única maneira de investigá-los é por meio daquilo que eles externalizam, seja verbalmente, simbolicamente ou pictoricamente.

Moreira (1996) defende ainda que a mudança conceitual deve ser vista como uma evolução conceitual e não como uma mera substituição de concepções e, para isso, deve haver uma modificação progressiva dos modelos mentais que o estudante apresenta do mundo físico, resultante do enriquecimento envolvendo a adição de informações aos modelos existentes e também pelas mudanças das crenças ou pressupostos individuais, bem como na estrutura relacional do modelo.

Ao contrário destes dois artigos, Ouasri (2017) – artigo 31 - não apresenta uma relação entre modelo mental e conceitual, mas atribui as dificuldades encontradas pelos estudantes durante uma resolução de problema envolvendo uma célula eletroquímica à falta de modelos mentais, sendo este um empecilho para que consigam raciocinar, descrever, explicar e/ou prever fenômenos.

Os modelos mentais falam muito a respeito dos conhecimentos prévios, das experiências e das formas de pensar sobre a realidade de cada pessoa (Borges, 1999) e, por conta disso, a falta destes acaba demonstrando aquilo que os estudantes não sabem. Logo, a partir disso, é possível averiguar as dificuldades apresentadas por estes ao utilizarem os conceitos básicos envolvendo as reações químicas de oxirredução em outros conteúdos, como na eletroquímica e na formação do ozônio.

Olhando-se para estes três artigos, pode-se dizer que, embora todos tenham um aprofundamento teórico sobre os modelos conceituais e mentais de oxirredução, nenhum deles trabalha de forma isolada com estas reações, pois estão relacionados com a formação do ozônio e a eletroquímica. Deste modo, conclui-se que os modelos mentais obtidos, bem como as dificuldades e equívocos encontrados, envolvem os conceitos pertencentes a este conteúdo (oxidação e redução, transferências de elétrons, mudança nos números de oxidação dos átomos, etc.) atrelados à inserção destas reações a outros conteúdos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das reações de oxirredução é tema de grande importância por conta de sua versatilidade, pois muitas reações comuns são exemplos deste processo. Em virtude de sua abrangência, muitas definições para estas transformações químicas acabam sendo usadas, como: reações redox, reações de oxidação-redução ou reações de oxirredução e, conseqüentemente, também existem diferentes formas de explicá-las. Arelados a outros entraves deste conteúdo, seu entendimento acaba sendo dificultado, gerando lacunas no processo de ensino e aprendizagem e, por isso, a importância de investigá-las.

Para tanto, sabe-se que uma pesquisa bibliográfica jamais pode ser dita finalizada, visto que a Ciência está em constante transformação e novos trabalhos são publicados a todo momento. Nesse sentido, salienta-se aqui que, se o foco da presente pesquisa abordasse somente às reações de oxirredução, o número de artigos analisados certamente seria muito maior. Mas, por estar também relacionado à Teoria dos Modelos Mentais, cinquenta e seis artigos foram selecionados, facilitando uma leitura mais aprofundada dos mesmos.

Logo, com base nos Níveis construídos a partir das relações averiguadas entre os modelos mentais e as reações de oxirredução, é possível buscar meios para responder o problema que rege esta pesquisa, isto é, como os principais periódicos de Ensino de Química e de Ciências vêm relacionando os modelos mentais e conceituais das reações químicas de oxirredução? O Processo de Fichamento 2, relacionado a uma leitura mais detalhada dos artigos, permitiu organizá-los de acordo com o grau de aprofundamento teórico das palavras-chave, resultando em quatro níveis diferentes.

Fazendo-se uma análise do Nível 1, averigua-se que, por mais que seja um nível com muitos artigos presentes (41 ao total), em nenhum momento foram encontradas relações entre os modelos mentais e conceituais de oxirredução. Quanto a estas reações químicas, embora de forma superficial, percebe-se uma grande abrangência deste conteúdo para a Química a partir dos artigos selecionados, pois contemplam suas subáreas, como Inorgânica e Orgânica. Salienta-se, porém, que nenhum deles buscou explicar como ocorrem os principais conceitos envolvidos nesse conteúdo, como por exemplo, os processos de oxidação e redução, e as transferências de elétrons. Além disso, a versatilidade destas reações pode ser observada pelos diversos exemplos encontrados nestes trabalhos. Por outro lado, as palavras-chave sobre os modelos mentais possuem mais relações nas obras, embora não com as reações de oxirredução e, por isso, é possível constatar algumas implicações destas para o âmbito educacional, visto que todas as subcategorias criadas neste nível estão relacionadas ao ensino, seja com o processo cognitivo, como também com o uso de diferentes estratégias para o Ensino de Química, como por exemplo, por meio do uso de novas tecnologias.

O Nível 2 vai ao encontro do exposto no primeiro nível, pois mesmo contemplando artigos com baixo aprofundamento teórico acerca do Conjunto 1 de palavras-chave, deixam claro o quão importantes são os modelos mentais na construção do conhecimento. Já as reações químicas de oxirredução possuem um aprofundado maior e são mais explanadas no decorrer dos textos, havendo uma preocupação com as dificuldades encontradas a partir do entendimento dos seus conceitos, mas sem envolver os modelos mentais.

Ao contrário do Nível 2, o Nível 3 apresenta artigos que possuem maior detalhamento teórico sobre os modelos mentais, enquanto as reações de oxirredução são vistas de forma extremamente sucintas. Por ajudarem na construção do entendimento e do raciocínio sobre os conceitos químicos, o olhar continua voltando-se às estratégias de ensino por meio da importância dessas representações para o processo de ensino e aprendizagem. Além disso, ao permitirem que os estudantes aprendam o “real” teoricamente, os autores desses trabalhos consideram que os modelos, não necessariamente mentais, são relevantes e apresentam papel fundamental para o Ensino de Química. Por sua vez, as palavras-chave do Conjunto 2 contemplam meras exemplificações relacionadas às reações de oxirredução.

Por apresentar interações entre os Conjuntos 1 e 2 de palavras-chave, dos quatro níveis criados, o Nível 4 é o mais importante para esta pesquisa bibliográfica. Isto é, foi possível observar relações entre os modelos mentais e conceituais das reações químicas de oxirredução somente nos artigos presentes neste último nível (artigos 02, 25 e 31), não sendo averiguado o mesmo nos demais níveis. De modo geral, estas publicações se complementam ao afirmarem que as dificuldades, os equívocos e as concepções ingênuas dos estudantes são estabelecidas quando é observado um distanciamento entre modelos mentais e conceituais.

Assim, os modelos mentais encontrados a partir destes três trabalhos permitiram constatar que os estudantes possuem concepções ingênuas e errôneas em relação aos conceitos presentes nas reações

químicas de oxirredução, como: transferência de elétrons, ânodo e cátodo, reação de oxirredução, oxidação e redução, agente oxidante e redutor, estado de oxidação e balanceamento de reações. Ao mesmo tempo, estes dados coincidem com os resultados obtidos por outros pesquisadores, os quais não fazem parte desta pesquisa bibliográfica, mas que também trabalham com as dificuldades conceituais envolvendo as reações químicas de oxirredução (Akram *et al.*, 2014; Freire *et al.*, 2011; Goes *et al.*, 2016; De Jong *et al.*, 1995; Klein, 2016; Lin *et al.*, 2002; Österlund *et al.*, 2010; Kelly *et al.*, 2017).

Contudo, embora haja um aprofundamento teórico de ambas as partes no Nível 4, é pertinente destacar que nenhuma dessas publicações preocuparam-se somente com as reações de oxirredução e, por isso, os modelos mentais apresentados estão atrelados aos entendimentos referentes também a outros conteúdos, como eletroquímica e formação do ozônio, os quais necessitam destas reações para serem compreendidos.

A partir desta pesquisa bibliográfica realizada, é possível concluir que os principais periódicos de Ensino de Química e de Ciências vêm publicando muitos artigos que abordam as reações químicas de oxirredução, como também a Teoria dos Modelos Mentais. No entanto, poucos trazem investigações sobre os modelos mentais que envolvam os modelos conceituais de oxirredução, pois dos cinquenta e seis artigos que contemplam ambos os Conjuntos de palavras-chave, somente em três é observado isso.

Além do mais, ressalta-se que nos artigos 02, 25 e 31 do Nível 4, em nenhum momento os modelos conceituais sobre os conceitos atrelados às reações de oxirredução são apresentadas e discutidas. No artigo 02 algumas reações químicas sobre a formação do ozônio são mostradas, bem como os desenhos de pilhas no artigo 25, mas sem maiores explicações sobre os conceitos. Isto é, nos três artigos são mostrados somente os modelos mentais dos estudantes sobre estes conteúdos que abrangem os conceitos de oxirredução.

No âmbito educacional, tanto de nível básico quanto superior, o estudo deste conteúdo é um fenômeno que pode e deve ser explorado exaustivamente, em virtude de ilustrar os vários conceitos químicos e físicos abstratos que, embora façam parte da rotina diária de qualquer pessoa, nem sempre são evidentes, criando-se uma indesejável separação entre conceitos e experiência. Assim, relacioná-los aos modelos mentais é muito importante, porque permitem aos estudantes de construir suas próprias representações sobre um determinado conteúdo, possibilitando a compreensão e aquisição do conhecimento, bem como a inserção destas reações em outros conteúdos de química, como por exemplo, na eletroquímica.

Este mapeamento dos trabalhos sobre a relação dos modelos mentais e conceituais de oxirredução pode ter implicações para os pesquisadores em Ensino de Química ao instigar a pesquisa de como ocorrem os modelos mentais dos estudantes sobre o presente conteúdo. Outro encadeamento é possibilitar que docentes de nível médio e superior passem a considerar a importância de investigar as estruturas cognitivas de seus estudantes, reconhecendo seus conhecimentos, equívocos e representações mentais, trazendo contribuições e melhorias para o ensino e aprendizagem das reações de oxirredução, bem como para o Ensino de Química de modo geral, além de dar suporte teórico às futuras pesquisas.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, a qual possibilitou a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akram, M., Surif, J. B., & Ali, M. (2014). *Conceptual difficulties of secondary school students in electrochemistry*. *Asian Social Science*, 10(19), 276-281. <https://doi.org/10.5539/ass.v10n19p276>
- Anselme, J-P. (1997). *Understanding oxidation-reduction in organic chemistry*. *Journal of Chemical Education*, 74(1), 69-72. Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed074p69>
- Aranha, M. (2010). *Memória e representações mentais*. *Ciências & Cognição*, 15(2), 01- 01. Recuperado de <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/cc/v15n2/v15n2a01.pdf>
- Atkins, P. W., & Jones, L. (2012). *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente* (5a ed.). Porto Alegre, RS: Bookman.

- Ausubel, D. P. (1982). *A aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel*. São Paulo, SP: Moraes.
- Aydin, S., & Boz, Y. (2013). *The nature of integration among PCK components: A case study of two experienced chemistry teachers*. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 615-24. <https://doi.org/10.1039/C3RP00095H>
- Azineira, C. M. (2012). *Stress, esse desconhecido: modelos mentais de peritos e não peritos*. (Dissertação de mestrado). Mestrado Integrado em Psicologia, Universidade de Lisboa, Portugal, PT. Recuperado de <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/7649>
- Barreto, B. S. J., Batista, C. H., & Cruz, M. C. P. (2017). *Células eletroquímicas, cotidiano e concepções dos educandos*. *Química Nova na Escola*, 39(1), 52-28. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160060>
- Borges, A. T. (1997). *Um estudo de Modelos Mentais*. *Investigações em Ensino de Ciência*, 2(3), 207-226. Recuperado de <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n3/borges.htm>
- Borges, A. T. (1999). *Como evoluem os modelos mentais*. *Ensaio-Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(1), 85-125. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21171999010107>
- Braathen, C. (1997). *Hálito culpado: princípio químico do bafômetro*. *Química Nova na Escola*, 5(s/nº), 3-5. Recuperado de <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc05/quimsoc.pdf>
- Bunge, M. (1974). *Os conceitos de modelo*. *Modelos na ciência teórica*. In M. Bunge Teoria e realidade. São Paulo, SP: Perspectiva.
- CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (2013). *Plataforma Sucupira*. Brasília, DF: CAPES. Recuperado de <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeraIPeriodicos.jsf>
- Carvalho Jr., G. D. de., & Aguiar Jr, O. (2008). *Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático*. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25(2), 207-227. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/6061/5632>
- Carvalho, N.B., & Justi, R.S. (2005). *Papel da analogia do "mar de elétrons" na compreensão do modelo de ligação metálica*. In *Anais do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Bauru, São Paulo, SP. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/265101027_Dificuldades_dos_alunos_em_construir_modelos_mentais_de_ligacao_metalica_baseados_na_analogia_do_mar_de_eletrons
- Constantino, M. G., Silva, G. V. J. da., & Donate, P. M. (2004). *Fundamentos de química experimental*. São Paulo, SP: Edusp.
- Craik, K.J. W. (1943). *The nature of explanation*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Damasceno, H. C., Brito, M. S., & Wartha, E. J. (2008). *As representações mentais e a simbologia química*. XIV Encontro Nacional de Ensino de Química. In *Anais do XIV Encontro Nacional de Ensino de Química*. Curitiba, Paraná, PR. Recuperado de <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0623-1.pdf>
- De Jong, O., Acampo, J., & Verdonk, A. (1995). *Problems in teaching the topic of redox reactions: actions and conceptions of chemistry teachers*. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(10), 1097-1110. <https://doi.org/10.1002/tea.3660321008>
- Fernandes, R. G. (2000). *Modelos mentais em mecânica introdutória: uma simulação computacional*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. Recuperado de <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/6280>
- Freire, M da S., Junior, C, S da S., & Silva, M. G. L da. (2011). *Dificuldades de aprendizagem no ensino de*

eletroquímica segundo licenciandos de química. In Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Campinas, São Paulo, SP. Recuperado de <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R1150-1.pdf>

- Gibin, G. B. (2013). *Atividades experimentais investigativas como contribuição ao desenvolvimento de modelos mentais de conceitos químicos*. (Tese de doutorado). Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. Recuperado de <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/6251/4878.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gibin, G. B., & Ferreira, L. H. (2009). *Investigação de modelos mentais dinâmicos sobre a dissolução de NaCl por meio da elaboração de animações*. In Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Florianópolis, Santa Catarina, SC. Recuperado de <https://silo.tips/download/investigacao-de-modelos-mentais-dinamicos-sobre-a-dissolucao-de-nacl-por-meio-da-e>
- Gibin, G. B., & Ferreira, L. H. (2012). *Estudo dos modelos mentais cinemáticos/dinâmicos sobre sistema heterogêneo por meio da produção de animações pelos estudantes*. In Anais do XVI Encontro Nacional de Ensino de Química. Salvador, Bahia, BA. Recuperado de <https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/view/8064/5818>
- Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa* (4a. ed). São Paulo, SP: Atlas.
- Goes, L. F. de., Fernandez, C., & Agostinho, S. M. L. (2016). *Concepções e dificuldades de um grupo de professores de química sobre conceitos fundamentais de eletroquímica*. In XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química. Florianópolis, Santa Catarina, SC. Recuperado de <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0236-1.pdf>
- Greca, I.M., & Moreira, M.A. (1996). *Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de Física General, estudiantes de postgrado y físicos profesionales*. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, 1(1), 95-108. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/648/439>
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2004). *The history of mental models*. In K. Manktelow, & M. C. Chung (Ed.). *Psychology of Reasoning: Theoretical and Historical Perspectives* (1a ed., pp. 179-212). Canadá, Estados Unidos: Psychology Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2010). *Mental models and human reasoning*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(43), 18243-18250. Recuperado de <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1012933107>
- Johnson-Laird, P. N. (2013). *Mental models and cognitive change*. *Journal of Cognitive Psychology*, 25(2), 131-138. <http://dx.doi.org/10.1080/20445911.2012.759935>
- Johnson-Laird, P. N., Girotto, V., & Legrenzi, P. (1998). *Mental models: a gentle guide for outsiders*. *Sistemi Intelligenti*, 9(68), 1-13. Recuperado de https://www.academia.edu/31130301/Mental_models_a_gentle_guide_for_outsiders
- Johnstone, A. H. (2009). *You Can't get there from here*. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 22-29. <http://dx.doi.org/10.1021/ed800026d>
- Julián, M. S. G., Crespo, M. A. G., & Pozo, J.I. (2002) *Conocimiento cotidiano frente a conocimiento científico en la interpretación de las propiedades de la materia*. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3), 191-203. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/573/365>
- Justi, R. (2003). *Proposição de um modelo para análise do desenvolvimento do conhecimento de professores de ciências sobre modelos*. In IV Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências.

Belo Horizonte, Minas Gerais, MG. Recuperado de <http://abrapecnet.org.br/enpec/iv-enpec/orais/ORAL153.pdf>

Justi, R. (2010). *Modelos e modelagem no ensino de química*. In: W. L. P. Santos., O. A. Maldaner (Org). Ensino de Química em Foco (1a Ed., pp. 209-230). Ijuí, RS: Ed. Unijuí.

Klein, S. G. (2016). *Poluição como temática para construção do conhecimento de reações redox sob uma perspectiva CTSA*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

Klein, S. G., & Braibante, M. E. F. (2017). *Reações de oxidação-redução e suas diferentes abordagens*. Química Nova na Escola, 39(1), 35-45. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160058hr>

Lagreca, M do C. B. (1997). *Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de Física Geral na Mecânica Clássica e possíveis modelos mentais nessa área*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. Recuperado de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1401/000161670.pdf?...1>

Lin, H. S., Yang, T. C., Chiu, H. L., & Chou, C. Y. (2002). *Students' difficulties in learning electrochemistry*. Proceedings of the National Science Council., 12(3), 100-105. Recuperado de <https://ejournal.stpi.narl.org.tw/index/items/download?vild=3D8A05F0-B35E-4C59-BA63-6960515CF9D1>

Magoga, T. F. (2017). *Abordagem temática na educação em ciências: um olhar à luz da epistemologia fleckiana*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

Mendonça, R. J., Campos, A. F., & Jófili, Z. M. S. (2004). *O conceito de oxidação-redução nos livros didáticos de química orgânica do ensino médio*. Química Nova na Escola. 20(s/n°), 45-48. Recuperado de <http://qnesc.sbg.org.br/online/qnesc20/v20a08.pdf>

Menzek, A. (2002). *A new approach to understanding oxidation-reduction of compounds in Organic Chemistry*. Journal of Chemical Education. 79(6), 700-702.

Moreira, M. A. (1996). *Modelos mentais*. Investigações em Ensino de Ciências, 1(3), 193-232. Recuperado de http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID17/v1_n3_a1.pdf

Moreira, M.A. (1999). *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: EPU.

Moreira, M. A. (1997). *Aprendizagem significativa: um conceito subjacente*. In M. A. Moreira., M. C. Caballero., & M. L. Rodríguez (Orgs.). Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, Espanha, ES. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>

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. Recuperado de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/141212/000375268.pdf?sequence=1>

Moreira, M. A. (2014). *Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática*. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia. 7(2), 1-20. Recuperado de <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/132559/000983274.pdf?sequence=1>

Moreira, M. A., Greca, I. M., & Palmeiro, M. L. R. (2002). *Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las Ciencias*. Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências, 2(3), 84-96. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/modelosmentalesymodelosconceptuales.pdf>

Moreira, M. A., & Lagreca, M. C. B. (1998). *Representações mentais dos alunos em Mecânica Clássica: três casos*. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, 3(2), 83-106. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/619>

Moreira, M. A., & Massoni, N. T. (2015). *Interfaces entre teorias de aprendizagem e ensino de ciências/física* [recurso eletrônico]. Porto Alegre - UFRGS, 26(6), 1-42. Recuperado de

https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v26_n6.pdf

- Norman, D.A. (1983). *Some observations on mental models*. In D. Gentner., & A. L. Stevens (Org). *Mental models* (pp. 6-14). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Österlund, L. L., Berg, A., & Ekborg, M. (2010). *Redox models in chemistry textbooks for the upper secondary school: friend or foe?*. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(s/n°), 182-192. <https://doi.org/10.1039/C005467B>
- Ozgum-Koca, S. A. (1998). *Students' use of representations in mathematics education*. Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, 1-17. Recuperado de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED425937.pdf>
- Ramos, R.T. (2014). *The concepts of representation and information in explanatory theories of human behavior*. *Front Psychol: Theoretical and Philosophical Psychology*, 5(1034), 1-8. <https://dx.doi.org/10.3389%2Ffpsyg.2014.01034>
- Sanjuan, M.E.C., Santos, C.V., Maia, J.O., Silva, A.F.A., & Wartha, E.J. (2009). *Maresia: uma proposta para o ensino de eletroquímica*. *Química Nova na Escola*, 31(s/n°), 190-197. Recuperado de http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_3/07-RSA-2008.pdf
- Santos, A. C. de O. (2014). *Reflexões sobre as contribuições do estudo dos modelos mentais de equilíbrio químico na formação de professores de química*. (Dissertação de Mestrado). Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, SE. Recuperado de https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/5172/1/ANA_CARLA_OLIVEIRA_SANTOS.pdf
- Santos, J. A. dos. (2016). *Objetos educacionais digitais: critérios de avaliação para o uso no ensino e na aprendizagem de química*. Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Salvador, Bahia, BA. Recuperado de <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/23641>
- Santos, A. C. O., Melo, M. R., & Andrade, T. S. (2015). *Identificando modelos mentais de equilíbrio químico: uma alternativa para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem*. *Revista Fórum Identidades*, 18(9), 35-56. Recuperado de <https://seer.ufs.br/index.php/forumidentidades/article/download/4752/3973>
- Sartori, E. R., Batista, E. F., & Filho, O. F. (2008). *Escurecimento e Limpeza de Objetos de Prata - Um Experimento Simples e de Fácil Execução Envolvendo Reações de Oxidação-redução*. *Química Nova na Escola*, s/v(30), 61-65. Recuperado de <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc30/11-EEQ-4407.pdf>
- Silverstein, T. (2011). *Oxidation and reduction: too many definitions?* *Journal of Chemical Education*. 88(3), 279-281.
- Tauceda, K. C.; Del Pino, J. C. (2010). *Modelos e outras representações mentais no estudo do DNA em alunos do ensino médio*. *Investigações em Ensino de Ciências*, 15(2), 337-354. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/299/194>

Recebido em: 23.01.2020

Aceito em: 27.08.2020

APÊNDICE 1 - ARTIGOS QUALIS A1 E A2 OBTIDOS A PARTIR DA SELEÇÃO 2.

01. Schönborn, K. J., & Anderson, T. R. (2010). *Bridging the educational research-teaching practice gap* Biochemistry and Molecular Biology, 38(5), 347–354. <https://doi.org/10.1002/bmb.20436>
02. VanReken, T. M., Howard, K. E., Brown, S. A., Chung, S. H., & Jobson, B. T. (2013). *College students' understanding of atmospheric ozone formation*. Chemistry Education Research and Practic, 14(s/n°), 51-61. <https://doi.org/10.1039/C2RP20074K>
03. Sevian, H., Bernholt, S., & Szteinberg, G. A., Augusto, S., Pérez, L.C. (2015). *Use of representation mapping to capture abstraction in problem solving in different courses in chemistry*. Chemistry Education Research and Practic, 16(s/n°), 429-446. <https://doi.org/10.1039/C5RP00030K>
04. Vladušić, R., Bucat, R. B., & Ožić, M. (2016). *Understanding ionic bonding – a scan across the Croatian education system*. Chemistry Education Research and Practic, 17(s/n°), 685-699. <https://doi.org/10.1039/C6RP00040A>
05. Bhattacharyya, G. (2014). *Trials and tribulations: student approaches and difficulties with proposing mechanisms using the electron-pushing formalism*. Chemistry Education Research and Practic, 15(s/n), 594-609. <https://doi.org/10.1039/C3RP00127J>
06. Salah, B. M., & Alain, D. (2016). *To what degree does handling concrete molecular models promote the ability to translate and coordinate between 2D and 3D molecular structure representations? A case study with Algerian students*. Chemistry Education Research and Practic, 17(s/n°), 862-877. <https://doi.org/10.1039/C5RP00180C>
07. Taber, K. S. (2014). *The significance of implicit knowledge for learning and teaching chemistry*. Chemistry Education Research and Practic, 15(s/n), 447-461. <https://doi.org/10.1039/C4RP00124A>
08. Kelly, R. M., Akaygun, S., Hansen, S. J. R., & Cerdas, A. V. (2017). *The effect that comparing molecular animations of varying accuracy has on students' submicroscopic explanations*. Chemistry Education Research and Practic, 18(s/n°), 582-600. <https://doi.org/10.1039/C6RP00240D>
09. Sevian, H., & Talanquer, V. (2014). *Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking*. Chemistry Education Research and Practic, 15(s/n°), 10-23. <https://doi.org/10.1039/C3RP00111C>
10. Tümay, H. (2016). *Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: emergence in chemistry and its implications for chemical education*. Chemistry Education Research and Practic, 2016, 17(s/n°), 229-245. <https://doi.org/10.1039/C6RP00008H>
11. Körhasan, N. D., & Wang, L. (2016). *Students' mental models of atomic spectra*. Chemistry Education Research and Practic, 17(s/n°), 743-755. <https://doi.org/10.1039/C6RP00051G>
12. Brandriet, A. R., & Bretz, S. L. (2014). *Measuring meta-ignorance through the lens of confidence: examining students' redox misconceptions about oxidation numbers, charge, and electron transfer*. Chemistry Education Research and Practic, 15(s/n°), 729-746. <https://doi.org/10.1039/C4RP00129J>
13. Solas, B. F., & Gómez, P. J. S. (2014). *Orbitais na educação química: Uma análise através de suas representações gráficas*. Chemistry Education Research and Practic, 15(s/n°), 311-319. <https://doi.org/10.1039/C4RP00023D>
14. Zhou, Q., Wang, T., & Zheng, Q. (2015). *Probing high school students' cognitive structures and key areas of learning difficulties on ethanoic acid using the flow map method*. Chemistry Education Research and Practic, 16(s/n°), 589-602. <https://doi.org/10.1039/C5RP00059A>
15. Tsaparlis, G., & Finlayson, O. E. (2014). *Physical chemistry education: its multiple facets and aspects*. Chemistry Education Research and Practic, 15(s/n°), 257-265. <https://doi.org/10.1039/C4RP90006E>
16. Al-Balushi, S. M., & Al-Hajri, S. H. (2014). *Associating animations with concrete models to enhance students' comprehension of different visual representations in organic chemistry*. Chemistry Education

Research and Practic, 15(s/n°), 47-58. <https://doi.org/10.1039/C3RP00074E>

17. Kermen, I., & Méheutb, M. (2009). *Different models used to interpret chemical changes: analysis of a curriculum and its impact on French students' reasoning*. Chemistry Education Research and Practic, 10(s/n°), 24–34. <https://doi.org/10.1039/B901457H>
18. Ganaras, K., Dumom, A., & Larcher, C. (2008). *Conceptual integration of chemical equilibrium by prospective physical sciences teachers*. Chemistry Education Research and Practic, 9(s/n°), 240–249. <https://doi.org/10.1039/b812413m>
19. Schmidt, H. J., Kaufmanna, B., & Treagustb, D. F. (2009). *Students' understanding of boiling points and intermolecular forces*. Chemistry Education Research and Practic, 10(s/n°), 265–272. <https://doi.org/10.1039/B920829C>
20. Strickland, A. M., Kraft, A., & Bhattacharyya, G. (2010). *What happens when representations fail to represent? Graduate students' mental models of organic chemistry diagrams*. Chemistry Education Research and Practic, 11(s/n°), 293-301. <https://doi.org/10.1039/C0RP90009E>
21. Boukhechem, M. S., Dumonb, A., & Zouikri, M. (2011). *The acquisition of stereochemical knowledge by Algerian students intending to teach physical sciences*. Chemistry Education Research and Practic, 12(s/n°), 331–343. <https://doi.org/10.1039/C1RP90040D>
22. Flynn, A, B. (2014). *How do students work through organic synthesis learning activities?* Chemistry Education Research and Practic, 15(s/n), 747-762. <https://doi.org/10.1039/C4RP00143E>
23. Graulich, N., & Bhattacharyyab, G. (2017). *Investigating students' similarity judgments in organic chemistry*. Chemistry Education Research and Practic, 18(s/n°), 774-784. <https://doi.org/10.1039/C7RP00055C>
24. Gegios, T., Katerina, S., & Spyros, K. (2017). *Investigating high-school chemical kinetics: the Greek chemistry textbook and students' difficulties*. Chemistry Education Research and Practic, 18(s/n), 151-168. <https://doi.org/10.1039/C6RP00192K>
25. Supasorn, S. (2015). *Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit*. Chemistry Education Research and Practice, 16(s/n°), 393-407. <https://doi.org/10.1039/C4RP00247D>
26. Blonder, R., & Sakhnini, S. (2017). *Finding the connections between a high-school chemistry curriculum and nano-scale science and technology*. Chemistry Education Research and Practic, 18(s/n°), 903-922. <https://doi.org/10.1039/C7RP00059F>
27. Kondakci, E. U., Demirdöğen, B., Akın, F. N., Tarkinc, A., & Günbatar, S. A. (2017). *Exploring the complexity of teaching: the interaction between teacher self-regulation and pedagogical content knowledge*. Chemistry Education Research and Practic, 18(s/n°), 250-270. <https://doi.org/10.1039/C6RP00223D>
28. Sevia, H., & Couture, S. (2018). *Epistemic games in substance characterization*. Chemistry Education Research and Practic, 19(s/n°), 1029-1054. <https://doi.org/10.1039/C8RP00047F>
29. Akkuzu, N., & Uyulgan, M. A. (2016). *An epistemological inquiry into organic chemistry education: exploration of undergraduate students' conceptual understanding of functional groups*. Chemistry Education Research and Practic, 17(s/n°), 36-57. <https://doi.org/10.1039/C5RP00128E>
30. Dori, Y. J., & Sasson, I. (2013). *A three-attribute transfer skills framework – part I: establishing the model and its relation to chemical education*. Chemistry Education Research and Practic, 14(s/n°), 363-375. <https://doi.org/10.1039/C3RP20093K>
31. Ouasri, A. (2017). *A study of Moroccan pupils' difficulties at second Baccaalaureat year in solving chemistry problems relating to the reactivity of ethanoate ions and to copper–aluminium cells*. Chemistry Education Research and Practice, 18(s/n°), 737-748. <https://doi.org/10.1039/C7RP00071E>

32. Joki, J., Lavonen, J., Juutib, K., & Aksela. M. (2015). *Coulombic interaction in Finnish middle school chemistry: a systemic perspective on students' conceptual structure of chemical bonding*. Chemistry Education Research and Practic, 16(s/n°), 901-917. <https://doi.org/10.1039/C5RP00107B>
33. Guerrero, M del. M. L., Guerrero, G. L., & Ramos, S. R. (2018). *Uso de un simulador para facilitar el aprendizaje de las reacciones de óxido-reducción: Estudio de caso en la universidad de Málaga*. Revista Educación Química, 29(3), 79-98. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.3.6372>
34. Acuña, M. E. de la C. (2009). *Las estrategias argumentativas en la enseñanza y el aprendizaje de la química*. Revista Educación Química. 20 (2), 143-155. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/64379/56512>
35. Sevian, H., Brenes, P., Arce, H., & Szteinberg, G. (2015). *Concepción de la identidad química en estudiantes y profesores de química*. Parte II: comparación entre participantes en dos universidades de diferentes países. Revista Educación Química, 26(2), 100-116. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/52917/47067>
36. Farré, A. S., & Lorenzo, M. G. (2014). *Para no seguir reinventando la rueda: El conocimiento didáctico en uso sobre los compuestos aromáticos*. Revista Educación Química, 25(3), 304-311. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/46237/41522>
37. Bravo, A. A. (2012). *Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química*. Revista Educación Química, 23(2), 1-9. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/53169/47299>
38. Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2009). *Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem – Parte I*. Revista Educación Química, 20(1), 282-293. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/64186/56319>
39. Rubilar, C. M., Aymerich, M. I. (2011). *Aportes a la modelización según el cambio químico*. Revista Educación Química, 2(3), 212-223. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/64192/56325>
40. Rodríguez, A. G., & Martínez, M. del C, C. (2010). *Contenidos esenciales en la asignatura de Química III en la Escuela Nacional Preparatoria*. Un análisis mediante el empleo de redes semánticas naturales. Revista Educación Química, 21(2), 139-145. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/64470/56599>
41. Garófalo, S. J., Alonso, M., & Galagovsky, L. R. (2014). *Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje: El caso del metabolismo de los carbohidratos*. Revista Enseñanza de las Ciencias, 32(3), 155-171. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1042>
42. Lacolla, L., Villagrà, J. A. M., & Valeiras, N. (2014). *Reacciones químicas y representaciones sociales de los estudiantes* *Chemical reactions and social representations of students*. Revista Enseñanza De Las Ciencias, 32(3), 89-109. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1010>
43. Aragón, M Del M., Oliva, J. M., & Navarrete, A. (2013). *Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías*. Revista Enseñanza de la Ciencia, 31(2), 9-30. Recuperado de <https://ensciencias.uab.es/article/view/v31-n2- aragon-oliva-navarrete/832-pdf-es>
44. Torres, T., Duque, J., Ishiwa, K., Sánchez, G., Solaz-Portolés., J. J., & Sanjosé, V. (2012). *Preguntas de los estudiantes de Educación Secundaria ante dispositivos experimentales*. Revista Enseñanza de la Ciencia, 30(1), 49-60. Recuperado de <https://ensciencias.uab.es/article/view/v30-n1-torres-duqueishiwa-et-al/619-pdf-es>
45. Dow, K. D. S. (2018). *Enhancing students' corresponding reasoning of cognitive performances by animated concept mapping in electrochemistry*. Journal of Baltic Science Education, 17(4), 654--669.

Recuperado de <http://oaji.net/articles/2017/987-1533709066.pdf>

46. Demirdöğen, B. (2017). *Examination of chemical representations in turkish high school chemistry textbooks*. Journal of Baltic Science Education, 16(4), 472-499. Recuperado de <http://oaji.net/articles/2017/987-1503904807.pdf>
47. Santos, L. C dos., & Silva, M. G. L da. (2014). *Conhecendo as dificuldades de aprendizagem no ensino superior para o conceito de estequiometria*. Acta Scientiae, 16(1), 133-152. Recuperado de <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/632/839>
48. Eichler, M. L., Dayan, S. P., & Fagundes, L. da C. (2008). *Concepções de adolescentes e de adultos sobre a sublimação do iodo*. Investigações em Ensino de Ciências, 13(1), 95-126. Recuperado de www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/viewFile/424/253
49. Francisco, C. A., Alexandrino, D. M., & Queiroz, S. L. (2015). *Análise de dissertações e teses sobre o ensino de química no brasil: produção científica de programas de pós-graduação em destaque*. Investigações em ensino de ciências, 20(3), 21-60. Recuperado de www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/viewFile/21/6
50. Silva, O. B da., & Queiroz, S. L. (2016). *Mapeamento da pesquisa no campo da formação de professores de química no Brasil*. Investigações em Ensino de Ciências, 21(1), 62-93. Recuperado de www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/viewFile/28/10
51. Gonçalves, J. M., & Julião, M. S. da S. (2016). *Analogias em livros didáticos destinados ao ensino superior: química orgânica versus físico-química*. Investigações em ensino de ciências, 21(3), 92-108. Recuperado de <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v21n3p92>
52. Olivera, A del, C., Mazzitelli, C. A., & Guirado, A. M. (2015). *El conocimiento construido por los alumnos en las clases de Química*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 14(1), 77-94. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen14/REEC_14_1_5_ex871.pdf
53. Matus, L., Benarroch, A., & Nappa, N. (2011). *La modelización del enlace químico en libros de texto de distintos niveles educativos*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 10(1), 178-201. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen10/ART9_Vol10_N1.pdf
54. Badillo, R. G., Miranda, R. P., & Torres, A. P. G. (2009). *Una aproximación histórico epistemológica a las leyes fundamentales de la Química*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 8(1), 359-375. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen8/ART19_Vol8_N1.pdf
55. Silva, G. S., Braibante, M. E. F., & Pazinato, M. S. (2013). *Os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos: uma análise nos livros didáticos de Química*. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 13(2), 159-182. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4266/2831>
56. Santos, L. R. L., Lima, J. P. M., & Sarmiento, V. H. V. (2017). *Concepções de alunos ingressantes no curso de licenciatura em química sobre alguns conceitos de soluções*. REnCiMa, 8(3), 41-60. Recuperado de <http://revistapos.cruzeirosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/1239/895>