

Uma revisão sistemática de literatura sobre as estratégias e temáticas para ensino de estereoisomeria

A systematic review of the literature on strategies and themes for teaching stereoisomerism

Revisión sistemática de la literatura sobre estrategias y temas para la enseñanza de la estereoisomería

Recebido: 08/11/2020 | Revisado: 19/11/2020 | Aceito: 22/11/2020 | Publicado: 27/11/2020

Lara Colvero Rockenbach

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9842-049X>

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: profelaraqmc@gmail.com

Daniele Trajano Raupp

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2314-5352>

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: daniele.raupp@ufrgs.br

Danielle Prazeres Reppold

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3493-4405>

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: dani.reppold@gmail.com

Carlos Eduardo Schnorr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2047-2107>

Universidad de la Costa, Colômbia

E-mail: cschnorr@cuc.edu.co

Resumo

Os obstáculos enfrentados na aprendizagem de estereoquímica englobam dificuldades relativas à visualização, problemas na aquisição e domínio de conceitos que são pré-requisitos para compreensão e diferenciação dos estereoisômeros. É importante destacar que aportes cognitivistas de aprendizagem consideram que o estudante aprende o que para ele tem significado; por esse motivo, a contextualização tem papel fundamental no processo de conceitualização. Este trabalho objetiva apresentar uma revisão sistemática de literatura sobre ensino de estereoisomeria buscando identificar estratégias e temáticas utilizadas. O método de

busca consistiu na seleção de estudos publicados em periódicos nos últimos 20 anos, em português e espanhol, com Qualis A1 e A2 na área de ensino, além dos artigos da Química Nova na Escola. Foram incluídos os que contemplavam estereoisomeria em compostos orgânicos como tema central, apresentando estratégias ou temas para sua contextualização no ensino. Baseado na Análise de Conteúdo, o processo analítico dos dezesseis artigos selecionados a partir dos critérios resultou na criação das categorias: escopo do artigo, estratégias de ensino, recursos didáticos para visualização e temas utilizados. Os resultados indicam o foco na publicação de propostas de ensino, estratégias para desenvolvimento das habilidades visuais com uso de kits moleculares e aplicativos, e a temática fármacos sendo a mais utilizada para contextualização. Como síntese geral, constatamos o uso de recursos para alfabetização visual, além da contextualização que privilegia uma variedade de situações nas quais o conceito de estereoisomeria é aplicado, tendo o potencial de torná-lo significativo para os estudantes.

Palavras-chave: Ensino; Estereoquímica; Estratégias de ensino; Alfabetização visual; Contextualização.

Abstract

The obstacles faced in learning stereochemistry include difficulties related to visualization, problems in the acquisition and mastery of concepts that are prerequisites for understanding and differentiating stereoisomers. It is important to highlight that cognitive learning contributions consider that the student learns what is meaningful to him; for this reason, contextualization has a fundamental role in the conceptualization process. This work aims to present a systematic review of the literature on teaching of stereoisomerism seeking to identify strategies and themes used. The search method consisted of the selection of studies published in journals in the last 20 years, in Portuguese and Spanish, with Qualis A1 and A2 in the teaching area, in addition to the articles from Química Nova na Escola. Those that included stereoisomers in organic compounds were included as the central theme, presenting strategies or themes for their contextualization in teaching. Based on Content Analysis, the analytical process of the sixteen articles selected based on the criteria resulted in the creation of categories: scope of the article, teaching strategies, didactic resources for visualization and themes used. The results indicate the focus on the publication of teaching proposals, strategies for the development of visual skills using molecular kits and applications, and the drugs theme being the most used for contextualization. As a general synthesis, we found the use of resources for visual literacy, in addition to the contextualization that privileges a variety of

situations in which the concept of stereoisomerism is applied, having the potential to make it meaningful for students.

Keywords: Teaching; Stereochemistry; Teaching strategies; Visual literacy; Contextualization.

Resumen

Los obstáculos enfrentados en el aprendizaje de la estereoquímica incluyen dificultades relacionadas con la visualización, problemas en la adquisición y dominio de conceptos que son requisitos previos para comprender y diferenciar estereoisómeros. Es importante resaltar que los aportes del aprendizaje cognitivo consideran que el alumno aprende lo que es significativo para él; por ello, la contextualización tiene un papel fundamental en el proceso de conceptualización. Este artículo tiene como objetivo presentar una revisión sistemática de la literatura sobre la enseñanza de estereoisómeros buscando identificar estrategias y temas utilizados. El método de búsqueda consistió en seleccionar estudios publicados en revistas en los últimos 20 años, en portugués y español, con Qualis A1 y A2 en el área de docencia, además de los artículos de Química Nova na Escola. Los que incluían estereoisómeros en compuestos orgánicos se incluyeron como tema central, presentando estrategias o temas para su contextualización en la docencia. A partir del Análisis de Contenido, el proceso analítico de los dieciséis artículos seleccionados en base a los criterios resultó en la creación de las categorías: alcance del artículo, estrategias didácticas, recursos didácticos para la visualización y temáticas utilizadas. Los resultados indican el foco en la publicación de propuestas didácticas, estrategias para el desarrollo de habilidades visuales utilizando kits y aplicaciones moleculares, siendo el tema de las drogas el más utilizado para la contextualización. Como síntesis general, encontramos el uso de recursos para la alfabetización visual, además de la contextualización que privilegia una variedad de situaciones en las que se aplica el concepto de estereoisómeros, teniendo el potencial de hacerlo significativo para los estudiantes.

Palabras clave: Enseñanza; Estereoquímica; Estrategías de enseñanza; Literatura visual; Contextualización.

1. Introdução

A área da química responsável pelo estudo das características tridimensionais das moléculas e suas relações com as propriedades dos compostos é denominada estereoquímica.

Analisando-se sua etimologia, a palavra estereo vem do grego e significa sólido, tridimensional. Um dos campos de estudo dessa área é a isomeria espacial ou estereoisomeria. A isomeria é caracterizada pela existência de duas ou mais substâncias que apresentam fórmulas moleculares idênticas, mas que diferem em sua constituição e possuem diferentes fórmulas estruturais (isômeros constitucionais), ou possuem constituição idêntica, entretanto, diferem no arranjo de seus átomos no espaço (estereoisômeros). Em química orgânica, os estereoisômeros classificam-se em enantiômeros e diastereoisômeros.

A definição atualizada dos termos compreende que “Os diastereoisômeros são estereoisômeros que não estão relacionados com imagens espaciais, enquanto um par de entidades moleculares que são imagens espelhadas uma da outra e não superponíveis são denominadas enantiômeros” (McNaught & Wilkinson, 2019, p. 2206). Dos milhões de compostos que conhecemos, a maioria pertence ao domínio da Química Orgânica, e parte dessa diversidade deve-se à isomeria (Esteban, 2008).

O ensino de estereoisomeria é citado como um dos conteúdos de difícil compreensão, exigindo habilidades visuoespaciais com a geração e a interpretação de representações estruturais (Graulich, 2015). Contudo, os obstáculos enfrentados na aprendizagem da estereoquímica vão além das dificuldades relativas à visualização, passando pelo problema da aquisição e domínio de uma série de conceitos que são pré-requisitos para a compreensão e diferenciação dos estereoisômeros. Dentre esses conceitos, podemos citar: estrutura molecular, constituição e conectividade dos átomos em uma molécula, configuração, quiralidade dentre outros (Raupp, Prochnow, Del Pino & Andrade Neto, 2020).

Além dos aspectos conceituais, a falta de conexão entre o conteúdo químico e o cotidiano é considerado um entrave no ensino. A contextualização é uma importante estratégia para o ensino da estereoquímica, pois, geralmente, a “[...] química orgânica é introduzida de forma árida para os alunos, que não conseguem relacionar esse conhecimento escolar com suas experiências prévias.” (Correia, Donner Jr. & Infante-Malachias, 2009, p. 489). Ao estabelecer uma relação estreita entre o conhecimento conceitual e situações da vida diária dos estudantes, a contextualização tem o potencial de tornar questões científicas relevantes, fazendo a ponte entre o conhecimento conceitual e a vida real, tendo impacto positivo na motivação e na aprendizagem (Delizoicov, Angotti & Pernambuco, 2002).

Torna-se necessário destacar que, neste trabalho, traz-se um recorte de uma pesquisa de mestrado profissionalizante em química cuja proposta é desenvolver e avaliar um produto educacional para o ensino de estereoisomeria. Nosso objetivo com essa revisão sistemática de literatura é compreender quais estratégias de ensino de estereoisomeria têm sido utilizadas,

principalmente dentro do contexto latino-americano, visando superar os desafios inerentes à aprendizagem da estereoquímica, especialmente no que se refere à visualização e à contextualização dos conceitos. Ao investigar como pesquisadores têm organizado suas estratégias para o ensino dos conceitos de estereoisomeria, esperamos que este estudo possa contribuir para a reflexão do grande desafio que é para o professor planejar atividades que possam proporcionar a aquisição dos conceitos científicos e superar as dificuldades específicas e inerentes de cada campo de conhecimento. Uma boa estratégia didática, segundo Vergnaud (1994), está necessariamente baseada na compreensão dessas dificuldades cognitivas e dos obstáculos que normalmente se encontram na construção do conhecimento.

2. Fundamentação Teórica

O papel da visualização no ensino de estereoisomeria

A manipulação, tradução e interpretação das representações podem constituir grandes desafios para os alunos, exigindo várias habilidades cognitivas, que podem ser desenvolvidas com a denominada alfabetização visual. A alfabetização visual é um termo polissêmico, em sua maioria, traçando paralelos com outros tipos de alfabetização (Terrell, Nickodem, Bates, Kersten & Mernitz, 2020). Também denominada alfabetização tridimensional (Schönborn & Anderson, 2006), ou ainda alfabetização visuoespacial (Milner-Bolotin & Nashon, 2011), objetiva desenvolver as habilidades que compreendem a capacidade de entender (ler), usar (escrever), pensar e aprender, e expressar-se em termos de imagens; ou seja, pensar visualmente (Hortin, 1983). Por essa razão é considerada competência central na educação em ciências (Linenberger & Holme, 2015); conseqüentemente, o uso de representações é a melhor estratégia para abordagem de conceitos, já que uma grande quantidade de informações é melhor apresentada visualmente do que verbalmente (Stokes, 2002).

A atenção dos educadores de ciências para esse tipo de alfabetização está alinhada aos grandes avanços científicos dos séculos XIX e XX, que dependeram fortemente da capacidade dos cientistas de visualizar e interpretar os fenômenos em 2D e 3D (Milner-Bolotin & Nashon, 2011). Essa alfabetização é essencial para a compreensão de uma gama de conceitos científicos de diversas áreas, destacando-se aqui a sua relevância para a estereoquímica, uma vez que tal habilidade não costuma ser dominada por todos os estudantes, em especial, a transição das representações 2D para 3D. Por esse motivo, estratégias que focam na alfabetização tridimensional têm sido inestimáveis para o processo de aprendizagem

(Kurbanoglu, Taskesenligil & Sozbilir, 2006).

Consequentemente, uma estratégia eficiente de ensino para a estereoquímica deve envolver o uso de um suporte de visualização externa no nível tridimensional, para que os estudantes possam internalizá-la, desenvolvendo, então, suas habilidades visuoespaciais e resolvendo outras situações no mesmo campo.

Contextualizando o conceito de estereoisomeria

O uso da contextualização no ensino de ciências pode estabelecer conexões entre a sociedade e a ciência, de maneira que os conteúdos científicos estudados sejam relevantes para o entendimento de situações cotidianas, possibilitando ao aluno a identificação e a solução de problemas (Krasilchik, 2000). Assim, o ensino de química, com enfoque temático contextualizado, pode contribuir para a compreensão de fenômenos químicos que se relacionam com o cotidiano (Gabel, 1993), facilitando a aprendizagem. A contextualização no ensino de ciências, de uma forma geral, vem sendo legitimada por documentos oficiais, por professores e por pesquisadores da área como um princípio norteador para educação orientada para a cidadania que permita a aprendizagem significativa de conhecimentos científicos (da Silva & Marcondes, 2010). O uso de uma abordagem contextualizada no ensino também está vinculada ao movimento CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), que surgiu com a concepção de compreender melhor a ciência e a tecnologia em seu contexto social (Acevedo Diaz, 1996).

Para facilitar a compreensão do impacto da organização espacial das moléculas em suas propriedades, há inúmeras temáticas que podem ser exploradas para abordar a estereoquímica, desde os exemplos mais simples, como o caso da gordura trans, até o mais complexo, como a interação biológica de determinados fármacos quirais, uma vez que o metabolismo dos seres vivos é altamente relacionado à estereoquímica (Barreiro, Ferreira & Costa, 1997). Aromas, sabores, ácidos orgânicos, fármacos quirais como a talidomida, anestésicos, antibióticos e analgésicos também são temas que podem ser utilizados, aumentando o repertório de conhecimento dos alunos sobre a aplicação do conceito, o que o torna significativo (Raupp, Prochnow & Del Pino, 2020).

A tragédia da talidomida é o exemplo mais comum e geralmente apresentado em todos os livros de Química Orgânica na educação básica como exemplo da diferença de propriedades em compostos quirais. Notoriamente, em função das milhares de crianças com malformações de membros, além dos abortos e natimortos, esse impactante resultado do

consumo de um fármaco na sua forma racêmica tornou-se o caso mais clássico e mais citado nos livros didáticos e conseqüentemente nas aulas de Química Orgânica (Raupp, Prochnow & Del Pino, 2020). No entanto, por se tratar de um episódio ocorrido por volta de 1960, reduzir a discussão apenas a esse caso pode dar impressão de que o problema foi pontual e de fácil resolução. Tal abordagem não permite a compreensão do problema até hoje enfrentado pela indústria farmacêutica ao lidar com os fármacos quirais, nem o conhecimento de todos os avanços e desafios na área de síntese assimétrica na busca dos fármacos enantiomericamente puros (Barreiro, Ferreira & Costa, 1997). Entretanto, a quiralidade é qualidade peculiar da qual compartilham muitas moléculas biologicamente importantes (Bagatin, Simplício, Santinn & Santin Filho, 2005), e está associada ao efeito farmacológico de vários fármacos utilizados como antibióticos, antiinflamatórios, analgésicos e agentes cardiovasculares (Lima, 1997).

Além de exemplos mais simples presentes no cotidiano do aluno, como fármacos e gordura trans, há estudos avançados na área da pesquisa de aspectos químicos e estereoquímicos das moléculas que podem ser utilizados na contextualização da relevância da temática, como o desenvolvimento de novas metodologias para determinação da estrutura de novos materiais e rotas reacionais em síntese orgânica (Hargittai; Hargittai, 2012). A compreensão de inúmeras biomoléculas como aminoácidos, carboidratos, ácidos nucleicos e ácidos graxos também demandam conhecimento em estereoquímica. A catálise assimétrica de reações orgânicas mudou drasticamente a área de síntese orgânica, permitindo avanços para o fornecimento de produtos enantiomericamente enriquecidos (Pilli, 2001), além de medicamentos, biopolímeros, produtos para saúde animal, agroquímicos, fungicidas, feromônios, flavorizantes, fragrâncias, dentre outros.

3. Metodologia

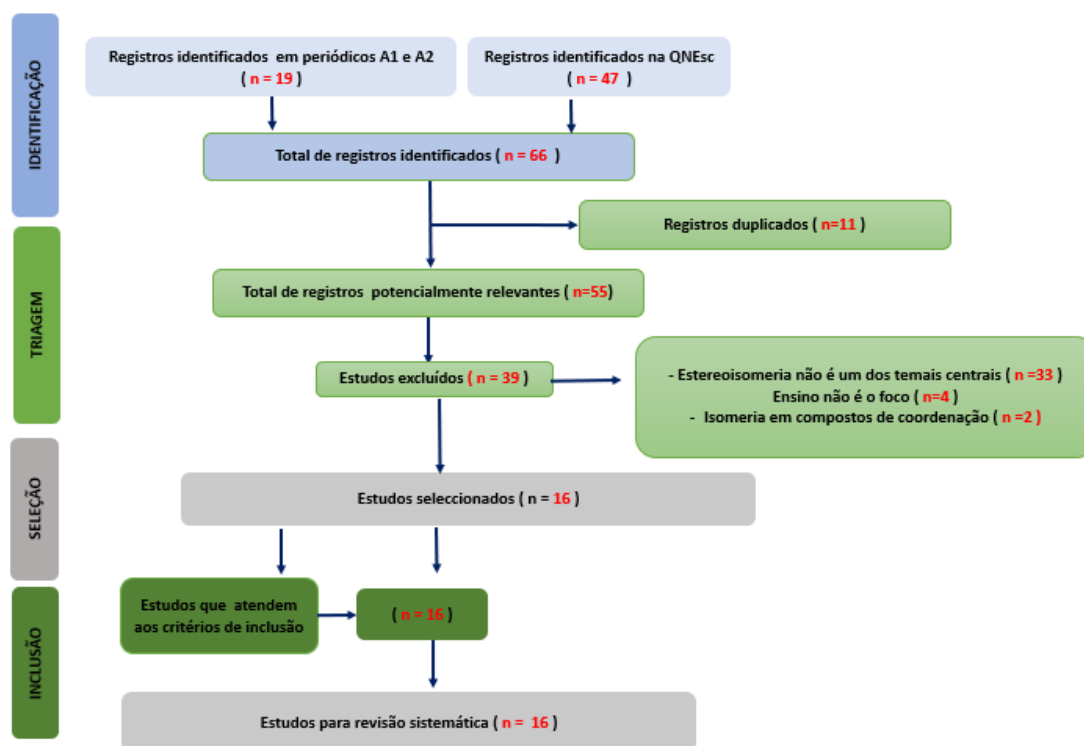
A revisão sistemática da literatura, seguiu as etapas propostas por Sampaio e Mancini (2007): elaboração da pergunta de investigação, definição do método de busca, determinação dos critérios de inclusão e exclusão de documentos e análise da relevância da literatura encontrada. Como pergunta base para a investigação, adotou-se: quais estratégias e temáticas têm sido utilizadas no ensino de estereoisomeria? A busca por documentos foi executada em periódicos avaliados com Qualis A1 e A2 na área de ensino (quadriênio 2013-2016), conforme informações da Plataforma Sucupira. Também se realizou a busca no periódico Química Nova na Escola, por constituir-se um importante meio de pesquisa para professores de química da Educação Básica (COLEN, 2012).

A estratégia de busca utilizada foi “isômeros OR estereoisômeros”, tendo como escopo o texto completo. Para a seleção dos artigos, foram adotados quatro critérios de inclusão: contemplar a estereoisomeria em compostos orgânicos como um dos temas centrais; apresentar elementos que possam ser considerados como estratégia ou tema para contextualização no ensino desse conteúdo; publicado na língua portuguesa ou espanhola; e corresponder ao recorte temporal de 20 anos (2000-2019). Foram aplicados como critérios de exclusão: estratégias para o ensino à distância, estudos que abordavam isomeria constitucional, ou estudos que contemplavam a estereoquímica de compostos de coordenação como tema central, por esse ser um conteúdo que pertence ao domínio da Química Inorgânica.

A análise da relevância da literatura foi baseada na análise de conteúdo de Bardin (2016), que compreende os polos cronológicos: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados. Para codificação, utilizou-se o método das categorias, usando como regra de enumeração a frequência de aparição e com etapas propostas por Laville e Dionne (1999): 1) Recorte de conteúdos 2) Definição das categorias 3) Categorização final.

A dinâmica de seleção e as causas de exclusão (Figura 1) foram aplicadas aos 66 registros identificados inicialmente por meio de leitura flutuante do texto para definição dos artigos selecionados para revisão.

Figura 1 – Diagrama do fluxo de seleção de artigos.



Fonte: Dados da pesquisa.

4. Resultados

Após realização da pré-análise 16 artigos passaram a constituir o *corpus* de pesquisa (Tabela 1).

Tabela 1 - Artigos que compõem o corpus de análise.

Nº	Revista	Título	Autores/ano
1	Ciência & Educação	Mapeamento conceitual como estratégia para romper fronteiras disciplinares: A isomeria nos sistemas biológicos	Correia, Donner & Malachias, 2008
2	Educación Química	La equivalencia entre las paridades de los intercambios de dos sustituyentes y las reflexiones especulares, en la determinación de la quiralidad de átomos tetraédricos: ¡Una demostración con espejos!	Pérez-Benítez, 2008
3	Revista Ensaio	Investigação do fenômeno de isomeria: concepções prévias dos estudantes do Ensino Médio e evolução conceitual	Correia, de Freitas, de Freitas & de Freitas Filho, 2010
4	Ensenanza de las ciencias	La estereoisomería en los libros de texto y el diseño de una secuencia de enseñanza y aprendizaje con realidad aumentada para promover la visualización	Rubilar, 2017
5	RBECT	A importância da utilização de estratégias de ensino envolvendo os três níveis de representação da Química	Pauletti, Rosa & Catelli, 2014
6	RBECT	Brincoquímica: Uma Ferramenta Lúdico-Pedagógica para o Ensino de Química	Filho, Melo, Freitas, Freitas & Freitas, 2015
7	RBECT	Um estudo de caso: programas computacionais mediando o ensino de isomeria geométrica	Pauletti & Catelli, 2018
8	IENCI	Abordando a isomeria em compostos orgânicos e inorgânicos: Uma atividade fundamentada no uso de situações-problema na formação inicial de professores de química	Neto, Campos & Júnior, 2013
9	REEC	Uso de um software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica: um estudo de caso baseado na teoria de mediação cognitiva	Raupp, Serrano, Martins & Souza, 2010
10	QNesc	Fármacos e Quiralidade	Coelho, 2001
11	QNesc	Uma Análise das Analogias e Metáforas Utilizadas por um Professor de Química Durante uma Aula de Isomeria Óptica	Araújo, Malheiros & Teixeira, 2015
12	QNesc	Isômeros, Funções Orgânicas e Radicais Livres: Análise da Aprendizagem de Alunos do Ensino Médio Segundo a Abordagem CTS	Júnior & Silva, 2016
13	QNesc	Desenhando Isômeros Ópticos	Rezende, Amauro & Rodrigues Filho, 2016
14	QNesc	Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais	Felipe & Bicas, 2017
15	QNesc	Do Senso Comum à Elaboração do Conhecimento Químico: Uso de Dispositivos Didáticos para Mediação Pedagógica na Prática Educativa	Mininel, Nardo, Oliveira & Arnoni, 2017
16	QNesc	Estudo de Caso em Aulas de Química: Percepção dos Estudantes de Nível Médio sobre o Desenvolvimento de suas Habilidades	Sousa, Rocha & Garcia, 2012

Fonte: Dados da pesquisa.

Além dos periódicos listados, foram consultados: *Acta Scientiae*, Alexandria, Areté, Contexto & Educação, Educação e Pesquisa, Rencima, RBPEC e RECM. Porém, nenhum artigo dentro dos critérios estabelecidos foi identificado. Na etapa de exploração do material, foram definidas as unidades de contexto que, segundo Bardin (2016), permitem compreender a significação dos itens obtidos usando análise categorial. Considerando-se a totalidade do texto, foi possível determinar os critérios de classificação que são suscetíveis de fazer sentido (ou elementos de significação) em relação ao que se deseja encontrar. Utilizou-se como regra de base para a definição das categorias analíticas o modelo misto. As duas categorias predefinidas como unidades de contexto foram: as estratégias de ensino e as temáticas utilizadas no ensino de estereoisomeria citadas nos artigos analisados. Ao longo do processo analítico, a partir da descrição para a enumeração das características do texto e da interpretação dos significados atribuída às características dos dados oriundos do recorte, emergiram novas categorias para compor o grupo, visto que diferentes objetivos foram identificados nos artigos, bem como houve uma pluralidade nas estratégias que abordam a alfabetização visual.

Dessa forma, as quatro categorias analíticas estabelecidas que compõem o grupo são: escopo do artigo; orientação das estratégias de ensino; recursos didáticos para visualização; e temas utilizados. A análise categorial, emergiu na criação de subcategorias e permitiu uma alocação mais homogênea e exclusiva de cada um dos artigos. A regra de enumeração utilizada foi a frequência, uma vez que “a importância de uma unidade registro aumenta com a frequência de aparição.” (Bardin, 2016, p. 138). Na etapa de tratamento dos resultados, após a definição das categorias analíticas, realizou-se a categorização final das unidades de contexto. A alocação de cada artigo é, então, justificada com a interpretação e inferência dos significados por meio de profunda descrição analítica oriunda do tratamento das informações contidas nos estudos, buscando analisar os significados de forma exaustiva, sistemática e objetiva.

Categoria escopo do artigo

Identificando os objetivos declarados pelos autores em suas publicações, os artigos analisados podem ser agrupados em três subcategorias de acordo com seu escopo: a) revisão de literatura, b) proposta de ensino e c) análise de prática docente (Figura 2). Cabe destacar que um mesmo artigo pode ser classificado em mais de uma subcategoria.

Figura 2 - Escopo dos artigos analisados.



Fonte: Dados da pesquisa.

Um total de treze artigos compõe a subcategoria Propostas de ensino (Tabela 3). Tais artigos propõem diferentes estratégias com recursos didáticos variados. Como exemplo de tais recursos didáticos, temos a aplicação de jogos pedagógicos para os conteúdos de Química Orgânica, destacando-se os jogos para abordagem do conceito de isomeria *cis/trans* no artigo de Filho et al. (2015). Os autores afirmam que os jogos oportunizam “a interlocução de saberes, a socialização e o desenvolvimento pessoal, social e cognitivo.” (Freitas Filho et al., 2015, p. 37). Estratégias baseadas em sequências didáticas com a abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) também estão presentes nos artigos 8 e 16. No artigo de Neto, Campos e Júnior (2013), a metodologia de Resolução de Problemas com o uso de textos sobre histórico e aplicações medicinais foi a estratégia utilizada. De acordo com os autores, a ênfase da metodologia está na compreensão conceitual e não na simples memorização dos fatos, uma vez que os alunos buscarão soluções para contextos problemáticos (reais ou fictícios) visando ao desenvolvimento de competências de alto nível cognitivo (Simões, Campo & Marcelino, 2013). Já o artigo de Sousa, Rocha e Garcia (2012) utilizou o método de estudo de caso visando estimular a argumentação em sala de aula. A situação-problema “Caso das macieiras da serra” possibilitou a discussão sobre controle de pragas na agricultura, bem como seus impactos sociais, ambientais e econômicos. Como solução para o caso, a aplicação do estereoisômero *cis*-9-tricoseno (conhecido como feromônio sexual da mosca doméstica) em armadilhas é uma técnica que mistura feromônio sintético e inseticida. Apenas o isômero *cis* possui tal propriedade, sendo um bom exemplo para utilizar na compreensão da diferença de propriedades que os estereoisômeros apresentam (Sousa, Rocha & Garcia, 2012).

Outra estratégia, mencionada nos artigos 1 e 3 (Correia, Donner Jr. & Infante-Malachias, 2008; Correia et al., 2010), foi a dinâmica didático-pedagógica dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), proposta por Delizoicov, Angotti e Pernambuco, que consiste nos momentos: problematização inicial, organização e aplicação do conhecimento. Posteriormente, essa dinâmica passou a ser denominada pelos autores como abordagem temática (Delizoicov, Angotti & Pernambuco, 2002). Contemplando essas três fases, espera-se, em termos de aprendizagem, que cada momento possa ampliar de forma gradual o conhecimento sobre o conceito em questão, permitindo estabelecer conexões entre sociedade e ciência, principalmente a partir da problematização inicial, na qual são abordadas questões ou situações reais do cotidiano dos alunos envolvidas nos temas. O objetivo desse momento “é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão, e fazer com que ele sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém.” (Muenchen & Delizoicov, 2014, p. 620). Dessa forma, os conceitos científicos passam a ter relevância para a compreensão de situações do cotidiano, permitindo ao aluno a identificação de problemas e respectivas soluções a partir desse novo conhecimento (Krasilchik, 2000).

Sobre a subcategoria revisão de literatura, Pauletti, Rosa e Catelli (2014) apresentam revisão sobre o uso de softwares e experimentos no ensino com base nos três níveis de representação. A discussão dos três níveis de representação é bastante pertinente no ensino de ciências. Esses níveis são detalhados da seguinte forma (Gilbert & Treagust, 2009): o nível macroscópico, correspondente às representações mentais adquiridas a partir da experiência sensorial direta, que é construído mediante a informação proveniente dos sentidos e que pode ser investigado com os instrumentos analíticos; o nível microscópico, que está correlacionado às representações abstratas, com as entidades pequenas (ou seja, átomos, íons, moléculas de radicais livres); e o nível simbólico, que expressa os conceitos químicos a partir de fórmulas, equações, entre outros. Segundo Stains e Talanquer (2007), os diferentes tipos de representações são utilizados em química para fazer previsões e para construir explicações, que são baseadas na identificação de características desses diferentes níveis de representação. Já Pauletti e Catelli (2018) contribuem no sentido de realizar uma revisão de literatura sobre o uso de softwares específicos para o ensino de estereoisomeria.

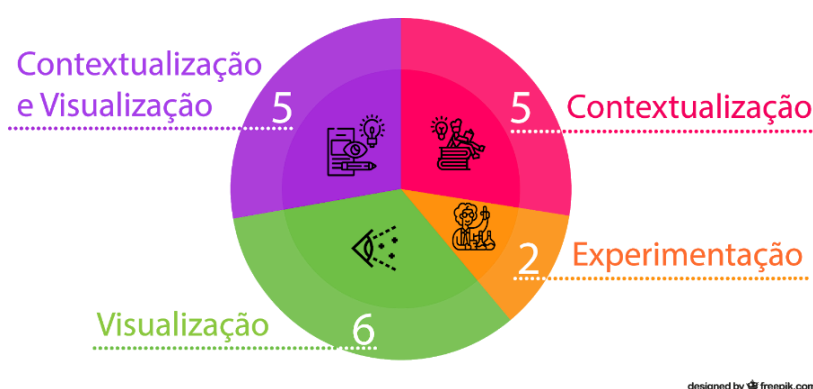
A análise de prática docente é observada nos artigos 7 e 11. Na prática docente, muitos professores utilizam-se de analogias e metáforas a fim de trazer para o cotidiano dos alunos questões de difícil compreensão. Araújo, Malheiros e Teixeira (2015) analisam a utilização de metáforas e analogias por parte de um docente durante o ensino de estereoisomeria. Sobre tais

analogias, os autores apontam que “analogias e metáforas podem funcionar positivamente, desde que empregadas de maneira sistematizadas, como ferramentas de transposição didática” (Araújo, Malheiro & Teixeira, 2015, p. 23), alertando sobre a necessidade de demarcar diferenças entre o modelo ou analogia com o que se quer representar/explicar. Já o trabalho de Pauletti e Catelli (2018) “[...] tem por objetivo investigar as possibilidades de uso dos programas de simulação computacional no ensino de química e especificamente no campo de isomeria geométrica no contexto do ensino público” (Pauletti & Catelli, 2018, p. 250). Os autores discorrem sobre o uso de softwares no ensino de estereoisomeria voltado para os três níveis de representação (macroscópico, microscópico e simbólico) e sobre um estudo de caso com professores da rede básica cuja conclusão foi a escassa utilização de recursos tecnológicos como os softwares.

Categoria orientação das estratégias de ensino

Fundamentalmente, a análise dos artigos permitiu ainda determinar quais estratégias foram citadas na abordagem do conteúdo estereoisomeria e assim subcategorizá-las como: a) contextualização, b) visualização, c) contextualização e visualização e d) experimentação (Figura 3).

Figura 3 - Orientação das estratégias de ensino.



designed by freepik.com

Fonte: Dados da pesquisa

Analisando os artigos que apresentam contextualização, foram identificados 10 que utilizam uma abordagem que busca relacionar o conhecimento científico da estereoisomeria com situações do contexto dos alunos. Desses, 5 artigos apresentam estratégias específicas que fazem uso da contextualização, e outros 5 combinam visualização espacial e contextualização para a facilitação da aprendizagem. Tais estudos foram, portanto, agrupados

na subcategoria Contextualização e visualização (Tabela 3). Ao utilizar esse tipo de estratégia os professores buscam uma melhor compreensão de fatos e fenômenos do seu dia a dia (Batista, Vasconcellos, Passos & Pazinato, 2020). Os temas empregados para a contextualização e as estratégias para visualização serão discutidos a seguir em categorias específicas, dada sua relevância para essa área, bem como sua representatividade no corpus desta pesquisa.

Como exemplo de estratégia de ensino orientada para a experimentação, percebe-se o emprego do nível macroscópico como estratégia para o ensino de estereoisomeria. Correia et al. (2010) descrevem o emprego de um experimento simples simulando a rotação da luz polarizada para sua visualização de modo qualitativo usando soluções com substância quiral e aquiral. De acordo com os autores, o experimento permitiu explorações conceituais e contribuiu para a evolução conceitual. No artigo 5, de Pauletti, Rosa e Catelli (2014), cujo objetivo é apresentar uma discussão sobre a importância da utilização de estratégias de ensino envolvendo os três níveis de representação da química, os autores discutem o papel de aulas experimentais, afirmando que a experimentação permite “a fusão dos universos microscópico e macroscópico, e também do simbólico na medida em que sua função seja a de fazer com que a teoria (níveis microscópico e simbólico) se adapte à realidade numa dimensão visível (macroscópico).” (Pauletti, Rosa & Catelli, 2014, p. 127). No entanto, não é discutido nenhum experimento específico para estereoisomeria.

É inegável a contribuição da experimentação no ensino de química, e poucos trabalhos apresentam propostas de experimentação para compreensão dos estereoisômeros, como se pode constatar em nossa revisão. Aulas experimentais despertam a curiosidade do estudante, são atraentes e motivadoras, permitem a visualização de um fenômeno químico em escala macroscópica e legitimam o caráter investigativo da ciência (Santos & Schnetzler, 1996; Ferreira & Del Pino, 2009; de Melo, de Oliveira & de Souza, 2019).

O uso da experimentação para o ensino de estereoisomeria tem o potencial de tornar clara a relação estrutura versus propriedade e o uso do nível macroscópico para a compreensão dessas diferenças. Ademais, em relação ao uso do nível macroscópico, temos os exemplos das temáticas utilizadas na contextualização dos conteúdos (Tabela 3). Com relação ao nível microscópico, as alternativas de representação são exploradas com o uso de softwares e aplicativos e/ou kits de modelos moleculares (Tabela 3).

Os níveis de representação utilizados como estratégia no ensino de química buscam minimizar os problemas de visualização em seus múltiplos níveis (Treagust, Chandrasegaran, Zain, Ong, Karpudewan & Halim, 2011; Kozma, 2003). Estudos como o de Lin, Son e Rudd

(2016) demonstram que a apresentação de representações concretas, como kits de modelos ou outras representações em 3D, podem aumentar a qualidade do ensino. Ferramentas computacionais como simulações e animações são amplamente citadas em pesquisas (Kozma & Russell, 2005; Wu, Krajcik & Soloway, 2001) com resultados positivos, assim como estudos mais recentes com relação ao uso de modelagem molecular (de Farias Ramos & Serrano, 2015). Dentre as razões para a utilização de softwares de modelagem molecular, de Farias Ramos e Serrano (2013) destacam o fato de que esses softwares “ilustram conceitos difíceis para estudantes”, “desenvolvem a capacidade de visualização dos estudantes” e outros fatores relacionados à motivação dos estudantes para aprender química.

Categoria recursos didáticos para visualização

Dentre os artigos analisados que apresentam recursos didáticos para a visualização (Figura 4), percebe-se o uso de diferentes recursos que privilegiam a visualização 3D no ensino de estereoisomeria, em especial em seus aspectos microscópicos e representacionais. O uso de modelos moleculares desempenha um papel considerado fundamental (Gilbert, 2008). O essencial é tornar as estruturas mais acessíveis para a compreensão das características tridimensionais. No caso dos estereoisômeros, as representações 3D são adequadas para a abordagem de cada conceito, pois auxiliam o estudante a lidar com problemas que seriam mais difíceis de serem resolvidos sem o uso da tridimensionalidade (Vergnaud, 1992).

Figura 4 - Recursos didáticos para visualização.



Fonte: Dados da pesquisa.

Entre as ferramentas, destacam-se os softwares ChemSketch, nos artigos de Raupp et al. (2010), Pauletti, Rosa e Catelli (2014), Rezende, Amauro e Rodrigues Filho (2016), Pauletti e Catelli (2018), e Construtor, de Pauletti e Catelli (2018), e os aplicativos ArgusLab,

de Diniz Júnior e Silva (2016), e SPECTO, de Rubilar (2017), apresentados como potenciais facilitadores no desenvolvimento de habilidades visuoespaciais. O uso de software aplicativo, bem como de modelos moleculares, relatado nos artigos 8, 6, 13, 15 e 11 (Simões, Campos & Marcelino Júnior, 2013; Freitas Filho et al., 2015; Rezende, Amauro & Rodrigues Filho, 2016; Mininel et al., 2017; Araújo, Malheiros & Teixeira, 2018), responde a uma das maiores dificuldades dos estudantes no aprendizado de estereoisomeria: a capacidade metavisual (Rubilar, 2017).

Dentre as metodologias utilizadas para o ensino de habilidades visuoespaciais, ressalta-se ainda o trabalho de Rezende, Amauro e Rodrigues Filho (2016), que utiliza a impressão frente e verso de moléculas a fim de realizar a transposição 2D - 3D e também a impressão de pares de enantiômeros em transparências a fim de verificar a não sobreposição das imagens especulares. Essa transposição do 2D para o 3D é necessária na resolução de problemas em estereoquímica. Ao utilizarmos apenas fórmulas 2D, ou o uso de projeções (como as de cavalete, Newman ou Fischer), podemos dificultar a compreensão de estudantes que não estão familiarizados com a visualização 3D. Tendo em vista que alguns tipos de representações podem ser “mais poderosos” que outros no processo de conceitualização (Vergnaud, 1992), a representação externa (nesse caso, os modelos) a ser utilizada deve ser a que fornece o maior número de informações sobre a estrutura.

Pérez-Benítez (2008) apresenta o uso de espelho como ferramenta didática no ensino de enantiomeria, com objetivo específico de demonstrar a paridade de trocas de dois substituintes em um carbono quiral e a paridade de suas reflexões especulares, bem como a determinação da quiralidade de um centro estereogênico tetraédrico. Tal estratégia é bastante pertinente, uma vez que a definição de estereoisomeria está relacionada com a possibilidade de as imagens dos isômeros serem especulares ou não.

De uma forma geral, os recursos utilizados vão ao encontro do que estudos têm demonstrado acerca de como o uso de representações 3D pode contribuir para a eficácia do ensino (Lin, Son & Rudd, 2016). O uso de simulações e animações computacionais é amplamente citado nas pesquisas (Kozma & Russell, 2005; Wu, Krajcik & Soloway, 2001), com resultados animadores, e, mais recentemente, o uso de modelagem molecular tem mostrado resultados promissores (De Farias Ramos & Serrano, 2015). Em resumo, as ferramentas de visualização tornaram-se importantes estratégias para o ensino (Stieff, Bateman & Uttal, 2005), uma vez que contribuem para a alfabetização visual.

Ao deparar-se com tantas possibilidades, é preciso analisar que alguns modelos moleculares podem apresentar um nível de detalhamento maior que outros, por isso é papel do professor,

conhecendo o nível de desenvolvimento cognitivo dos alunos, propor modelos mais adequados e que serão mais significativos para o processo alfabetização visual. Dependendo do nível de desenvolvimento, por exemplo, o estudante é capaz de resolver problemas de estereoquímica a partir da fórmula estrutural desenhada, ou seja, de uma representação bidimensional. Nesses casos, os modelos 3D podem ser facilmente substituídos por projeções, uma vez que representam a estrutura 3D no papel e auxiliam na compreensão do arranjo espacial, quando não estão disponíveis outros recursos como modelos concretos ou computacionais (Raupp et al., 2010).

Já outros estudantes precisam dos modelos concretos como suporte de visualização externa para poderem pensar; espera-se que, à medida que internalizam essas representações, desenvolvam suas habilidades visuoespaciais. Por isso “é essencial para o professor enfatizar aos alunos que a compreensão desses símbolos, fórmulas ou modelos são representações de diferentes propriedades de uma molécula ou substância e não uma cópia de qualquer coisa” (Treagust, Duit & Nieswandt, 2000, p. 231). Com o aprendizado dessa forma de representação, o químico não precisa mais ter o modelo concreto em suas mãos, pois consegue imaginá-lo a partir da fórmula estrutural desenhada (Roque & Silva, 2008). Entretanto, em alguns casos específicos e com determinados estudantes, as projeções não são suficientes para fazer a conexão com a estrutura tridimensional.

Categoria temas utilizados

A análise dos artigos indicou a contextualização como uma das principais estratégias de ensino empregadas. Para melhor expressar sua significação, optamos por categorizar os temas utilizados (Figura 5).

Figura 5 - Temas utilizados.



Fonte: Dados da pesquisa.

Dentre os 10 artigos que citaram a abordagem de algum tema relacionado ao contexto dos estudantes, 5 apresentaram a unidade de contexto fármacos e, em todos esses, encontra-se o exemplo dos efeitos teratogênicos de um dos enantiômeros da talidomida (Tabela 3). No entanto, alguns autores não se limitaram a contextualizar o conceito por meio desse caso clássico. No artigo 1, a proposta foi provocar os estudantes “a relacionar conceitos de Química e de Biologia, a fim de compreender melhor e explicar as consequências biológicas da isomeria” (Correia, Donner Jr. & Infante-Malachias, 2008, p. 483). De forma a privilegiar a construção de significados com enfoque interdisciplinar, foi proposta a construção de mapas conceituais. As temáticas utilizadas para a contextualização foram a talidomida e o *cis*-retinal. Sobre o *cis*-retinal, foi abordada a sua conversão em *trans*-retinal em função da incidência da luz nos olhos, bem como a sua produção a partir da Vitamina A, as consequências da falta dessa vitamina – que provoca a cegueira noturna – e a presença do β -caroteno em alimentos – que, quando ingerido, é convertido em Vitamina A.

No artigo 4, Correia et al. (2010) relatam uma proposta didática que utiliza a temática fármacos com foco nas propriedades biológicas, abordando o uso de medicamentos para dor comumente usados e a sua atuação no organismo, destacando a ação biológica do fármaco talidomida e sua relação com conceitos de estereoquímica.

Neto, Campos e Júnior (2013), no artigo 8, salientam que a falta de uma integração com a Química Inorgânica pode colaborar para uma visão reducionista do conceito de isomeria, uma vez que existem compostos inorgânicos que apresentam estereoquímica e, portanto, o isomerismo é característica tanto de compostos orgânicos quanto de inorgânicos. Os autores comentam que as propriedades e aplicabilidades dos isômeros inorgânicos são aspectos muito interessantes dos compostos de coordenação. Em sua proposta didática, abordam a Química Inorgânica Medicinal utilizando uma situação-problema que envolve um tratamento antitumoral que objetiva destacar uma propriedade biológica de um fármaco inorgânico isomérico, o *cis*-diclorodiaminaplatina II ou cisplatina, sendo seu isômero *trans* inativo.

No artigo de Coelho (2001), a relação da quiralidade com o efeito farmacológico dos fármacos, bem como a forma de interação em um organismo animal e suas respostas biológicas, são abordados. Vários fármacos quirais comercializados em farmácias brasileiras são citados no estudo, como Amoxicilina, Ibuprofeno e Cefalexina. O autor também apresenta uma discussão sobre sínteses racêmicas e assimétricas de fármacos e reforça que “fármacos quirais necessitam de cuidados especiais por parte das autoridades farmacêuticas, no sentido

de garantir que somente aquele estereoisômero responsável pela atividade seja vendido nas farmácias” (Coelho, 2001, p. 32).

Efeitos sobre a saúde também são abordados nos artigos 6 e 12, através do exemplo das gorduras *trans*, prejudiciais ao sistema cardiovascular, utilizando como exemplo a margarina, além de análise de percentual de gorduras *trans* em outros alimentos (Freitas Filho et al., 2015) e debate acerca dos problemas sociais acarretados pelo consumo inapropriado dessas gorduras (Diniz Júnior & Silva, 2016).

A categoria feromônios foi inferida dos artigos 3, 16 e 15, que trataram da temática já citada – o controle de insetos em macieiras e a interação inseto-plantas, respectivamente (Correia et al., 2010; Sousa, Rocha & Garcia, 2012; Mininel et al., 2017). Finalmente, a categoria óleos essenciais foi elencada devido à pertinência da temática na estereoquímica, tendo constituído o foco do artigo 14, a respeito da química dos terpenos (Felipe & Bicas, 2017).

O uso de temáticas variadas, que não se limitam à abordagem da talidomida, privilegia a abordagem de diferentes situações, proporcionando assim uma análise de como o conhecimento científico é encontrado em nossa vida diária. O resultado é a familiarização dos alunos com a ciência, tornando as questões científicas relevantes para os estudantes e impactando positivamente na sua motivação e aprendizagem (Cardoso & Colinvaux, 2000).

Dessa forma, trazer o cotidiano do aluno para sala de aula, demonstrando que o conhecimento científico e tecnológico tem relação direta com seu dia a dia, é um dos desafios dos professores (França, 2005). A apropriação pelos alunos dos conceitos científicos envolvidos na aprendizagem de estereoquímica demanda do professor atividades de ensino planejadas; podemos despertar o interesse dos estudantes ao relacionar esses conceitos com o cotidiano e ao demonstrar fatos concretos (Raupp & Del Pino, 2015). Além disso, a contextualização tem uma função social ao oportunizar, de acordo com de Freitas Filho, Nascimento, Silva e Lino (2011), o desenvolvimento das competências e habilidades básicas relativas à formação da cidadania, por suscitar discussões de aspectos sociais relevantes e, assim, exigir reflexão e posicionamento crítico por parte dos estudantes.

5. Considerações Finais

A coleta de dados por meio de uma revisão sistemática da literatura, aplicando-se, como instrumento de interpretação, a Análise de Conteúdo de artigos publicados nos principais periódicos voltados para o ensino de ciências, permitiu uma análise temática que

emergiu da escolha das unidades de contexto e categorização dos artigos de acordo com (1) o seu escopo, (2) as diferentes estratégias de ensino, (3) os variados recursos didáticos para visualização e (4) a diversidade de temas utilizados. Essa análise revelou tanto a importância da visualização no processo de ensino como a relevância da contextualização no tratamento dos conceitos no campo da estereoisomeria.

Em relação ao escopo dos artigos, observou-se uma prevalência nas propostas de ensino. No decorrer do processo analítico, constatou-se que essas propostas apresentam abordagens metodológicas que buscam a integração entre os aspectos conceituais e contextuais relacionados ao conteúdo estereoisomeria, no intuito de estabelecerem uma conexão entre os conhecimentos científicos que fazem parte da área e sua presença e impacto no cotidiano em sociedade, na ciência e na tecnologia.

A respeito das temáticas abordadas, percebe-se uma distribuição dos assuntos tratados, apresentando temas variados e superando uma visão reducionista ao utilizarem exemplos que não se restringem ao caso da talidomida e que se ocupam de aplicações presentes na atualidade e, portanto, mais próximas do cotidiano dos estudantes.

No tocante ao uso de recursos didáticos para a visualização, destaca-se o número expressivo de artigos que, baseados na necessidade de resolução de problemas em nível tridimensional associada às dificuldades ou falta de habilidades visuoespaciais dos alunos, investem em alternativas para promover o desenvolvimento de tais habilidades valendo-se de recursos como modelos e software aplicativo como meio de promover a necessária alfabetização visual.

Tendo em consideração os resultados apresentados neste artigo, esperamos que este constitua uma contribuição para pesquisadores em ensino de ciências, despertando o interesse pelo campo de investigação sobre alfabetização visual, que possui grande potencial. Considera-se que uma característica marcante da área é o uso de uma grande variedade de representações consideradas essenciais para a comunicação dos conceitos e que fomentam ainda mais o interesse pelo campo de investigação sobre a contextualização no ensino, não só como ferramenta para motivação da aprendizagem e promoção do engajamento dos estudantes em sala de aula, como também para observação da relevância e valorização da ciência.

Referências

Acevedo Díaz, J. A. (1996) La tecnología en las relaciones CTS: una aproximación al tema. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35-44.

Araújo, R. S., Malheiro, J. M., & Teixeira, O. P. (2015) Uma análise das analogias e metáforas utilizadas por um professor de química durante uma aula de isomeria óptica. *Química Nova na Escola*, 37(1), 19-26.

Bagatin, O., Simplício, F. I., Santin, S. M. O., & Santin Filho, O. (2005) Rotação de luz polarizada por moléculas quirais: uma abordagem histórica como proposta de trabalho em sala de aula. *Química Nova na Escola*, 21, 34-38.

Bardin, L. (2016) *Análise de conteúdo*. Edições 70.

Barreiro, E. J., Ferreira, V. F., & Costa, P. R. (1997). Substâncias enantiomericamente puras (SEP): a questão dos fármacos quirais. *Química Nova*, 20(6), 647-655.

Batista, B. M., Vasconcellos, P. S., Passos, C. G., & Pazinato, M. S. (2020). Teaching and learning Organic Chemistry in the view of High School teachers. *Research, Society and Development*, 9(7), e623974544.

Cardoso, P. S., Colinvaux, D. (2000) Explorando a motivação para estudar química. *Química Nova*, 23(3), 401-404.

Coelho, F. A. (2001) Fármacos e quiralidade. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, 3, 23-32.

Colen, J. (2012) 17 anos de Química Nova na Escola: notas de alguém que a leu como estudante no ensino médio e no ensino superior com aspirações à docência. *Química Nova na Escola*, 34(1), 16-20.

Correia, M. E. A., de Freitas, J. C. R., de Freitas, J. J. R., & de Freitas Filho, J. R. (2010) Investigação do fenômeno de isomeria: concepções prévias dos estudantes do ensino médio e evolução conceitual. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 12(2), 83-100.

Correia, P. R. M., Donner Jr., J. W., & Infante-Malachias, M. E. (2008) Mapeamento conceitual como estratégia para romper fronteiras disciplinares: a isomeria nos sistemas biológicos. *Ciência & Educação (Bauru)*, 14(3), 483-495

Da Silva, E. L., & Marcondes, M. E. R. (2010) Visões de contextualização de professores de química na elaboração de seus próprios materiais didáticos. *Ensaio Pesquisa em Educação em*

De Farias Ramos, A., & Serrano, A. (2013) Modelagem molecular no ensino de ciências: uma revisão da literatura no período 2001-2011 acerca da sua aplicabilidade em atividades de ensino. *Acta Scientiae*, 15(2), 363-382.

De Farias Ramos, A., & Serrano, A. (2015) Uma proposta para o ensino de estereoquímica *cis/trans* a partir de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) e do uso de modelagem molecular. *Experiências em Ensino de Ciências*, 10(3), 94-106.

De Freitas Filho, J. R., de Freitas, J. C. R., da Silva, L. P., & de Melo, R. C. L. (2012) Brincoquímica: uma ferramenta lúdico-pedagógica para o ensino de Química Orgânica. In *Anais do XVI ENEQ/X EDUQUI*.

De Freitas Filho, J. R., Nascimento, Á., da Silva, A. C., & Lino, F. R. L. (2011) Medicamentos veterinários: contextualizando o ensino de Química Orgânica. *Acta Scientiae*, 13(2), 129-144.

De Melo, C. C., de Oliveira, R. C. B., & de Souza, A. N. (2019) Utilização de experimentação como aporte em atividades problematizadoras para a significação de conceitos químicos no Ensino Básico. *Debates em Educação*, 11(24), 84-105.

Delizoicov, D., Angotti, J. A., & Pernambuco, M. M. C. A. (2002) *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. Cortez.

Diniz Júnior, A. I. D., & Silva, J. R. R. T. (2016) Isômeros, funções orgânicas e radicais livres: análise da aprendizagem de alunos do Ensino Médio segundo a abordagem CTS. *Química Nova na Escola*, 38(1), 60-69.

Esteban, S. (2008) Liebig–Wöhler controversy and the concept of isomerism. *Journal of Chemical Education*, 85(9), 1201.

Felipe, L. O., & Bicas, J. L. (2017) Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. *Química Nova na Escola*, 39(2), 120-130. http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_2/04-QS-09-16.pdf

Ferreira, M., & Del Pino, J. C. (2009) Estratégias para o ensino de química orgânica no nível médio: uma proposta curricular. *Acta Scientiae*, 11(1), 101-118.

França, A. (2005) *Contextualização no ensino de química: visão dos professores da cidade de Sete Lagoas/MG* (35 f.). Monografia de especialização em Ensino de Ciências, Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Gabel, D. L. (1993) Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 193.

Gilbert, J. K. (2008) Visualization: an emergent field of practice and enquiry in science education. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh. *Visualization: theory and practice in science education* (pp. 3-24). Springer.

Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009) Towards a coherent model for macro, submicro and symbolic representations in chemical education. In J. K. Gilbert, & D. Treagust. *Multiple representations in chemical education* (pp. 333-350). Springer.

Graulich, N. (2015) The tip of the iceberg in organic chemistry classes: how do students deal with the invisible? *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 9-21.

Hargittai, B., & Hargittai, I. (2012) Nobel Prize and structural chemistry II. *Structural Chemistry*, 23, 1-5.

Hortin, J. (1983) Visual literacy and visual thinking. In L. Burbank, & D. Pett. *Contributions to the study of visual literacy* (pp. 92-106). International Visual Literacy Association.

Kozma, R. B. (2003) The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and instruction*, 13(2), 205-226.

Kozma, R., & Russell, J. (2005) Multimedia learning of chemistry. In R. E. Mayer. *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 409-428). Cambridge University Press.

Krasilchik, M. (2000) Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. *São Paulo em perspectiva*, 14(1), 85-93.

Kurbanoglu, N. I., Taskesenligil, Y., & Sozbilir, M. (2006) Programmed instruction revisited: a study on teaching stereochemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(1), 13-21.

Laville, C., & Dionne, J. (1999) *A construção do saber*. Editora da UFMG.

Lima, V. L. E. (1997) Os fármacos e a quiralidade: uma breve abordagem. *Química Nova*, 20(6), 657-663.

Lin, Y. I., Son, J. Y., & Rudd, J. A. (2016) Asymmetric translation between multiple representations in chemistry. *International Journal of Science Education*, 38(4), 644-662.

Linenberger, K. J., & Holme, T. A. (2015) Biochemistry instructors' views toward developing and assessing visual literacy in their courses. *Journal of Chemical Education*, 92(1), 23-31.

McNaught, A. D., & Wilkinson, A. (2019) *The IUPAC Compendium of Chemical Terminology* (2nd ed.). Blackwell Scientific Publications.

Milner-Bolotin, M., & Nashon, S. M. (2012) The essence of student visual-spatial literacy and

Mininel, F. J. (2009) *Do senso comum à elaboração do conhecimento químico: uso de dispositivos didáticos para mediação pedagógica na prática educativa* (248 f.). Dissertação de mestrado em Química, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo.

Muenchen, C., & Delizoicov, D. (2014) Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro Física. *Ciência & Educação (Bauru)*, 20(3), 617-638.

Pauletti, F., & Catelli, F. (2018) Um estudo de caso: programas computacionais mediando o ensino de isomeria geométrica. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 11(1), 250-269.

Pauletti, F., Rosa, M. P. A., & Catelli, F. (2014) A importância da utilização de estratégias de ensino envolvendo os três níveis de representação da Química. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 7(3), 121-134.

Pérez-Benítez, A. (2008) La equivalencia entre las paridades de los intercambios de dos sustituyentes y las reflexiones especulares, en la determinación de la quiralidad de átomos tetraédricos: ¡Una demostración con espejos! *Educación Química*, 19(2), 146-151.

Pilli, R. A. (2001) Catálise assimétrica e o Prêmio Nobel de Química de 2001. Novos paradigmas e aplicações práticas. *Química Nova na Escola*, 14, 16-25.

Raupp, D. T., & Del Pino, J. C. (2015) Estereoquímica no Ensino Superior: historicidade e contextualização em livros didáticos de Química Orgânica. *Acta Scientiae*, 17(1), 146-168.

Raupp, D. T., Serrano, A., Martins, T. L. C., & Souza, B. C. D. (2010) Uso de um software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica: um estudo de caso baseado na teoria de mediação cognitiva. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 18-34.

Raupp, D. T., Prochnow, T. R., Del Pino, J. C., & Andrade Neto, A. S. (2020) La capacidad de comprensión del campo conceptual de la estereoquímica: los desafíos que preceden a los problemas de visualización espacial. *ACTIO*, 5(1), 1-21.

Raupp, D. T., Prochnow, R. T., & Del Pino, J. C. (2020) História e contextualização no ensino de estereoquímica: uma proposta de abordagem para o ensino médio. *Revista Contexto & Educação*, 35(112), 432-455.

Rezende, G. A., Amauro, N. Q., & Rodrigues Filho, G. (2016) Desenhando isômeros ópticos. *Conceitos Científicos em Destaque*, 38, 133-140.

Roque, N. F., & Silva, J. L. P. (2008) A linguagem química e o ensino da química orgânica. *Química Nova*, 31(4), 921-923.

Rubilar, C. M. (2017) La estereoisomería en los libros de texto y el diseño de una secuencia de enseñanza y aprendizaje con realidad aumentada para promover la visualización. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, nº extra, 4461-4466.

Sampaio, R. F., & Mancini, M. C. (2007) Systematic review studies: a guide for careful

Santos, W. D., & Schnetzler, R. P. (1996) Função social: o que significa ensino de química para formar o cidadão. *Química Nova na Escola*, 4(4), 28-34.

Schönborn, K. J., & Anderson, T. R. (2006) The importance of visual literacy in the education of biochemists. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34(2), 94-102.

Simões, J. E., Campos, A., & Marcelino, C. J. (2016) Abordando a isomeria em compostos orgânicos e inorgânicos: atividade fundamentada no uso de situações-problema na formação inicial de professores de Química. *Investigações em Ensino de Ciências*, 18(2), 327-46.

Sousa, R. D., Rocha, P. D. P., & Garcia, I. T. S. (2012) Estudo de caso em aulas de química: percepção dos estudantes de nível médio sobre o desenvolvimento de suas habilidades. *Química Nova na Escola*, 34(4), 220-228.

Stains, M., & Talanquer, V. (2007) A2: Element or compound? *Journal of Chemical Education*, 84(5), 880.

Stieff, M., Bateman, R. C., & Uttal, D. H. (2005) Teaching and learning with three-dimensional representations. In J. K. Gilbert. *Visualization in science education* (pp. 93-120). Springer.

Stokes, S. (2002) Visual literacy in teaching and learning: a literature perspective. *Electronic Journal for the Integration of Technology in Education*, 1(1), 10-19.

Terrell, C. R., Nickodem, K., Bates, A., Kersten, C., & Mernitz, H. (2020) Game-based activities targeting visual literacy skills to increase understanding of biomolecule structure and function concepts in undergraduate biochemistry. *Biochemistry and Molecular Biology Education* (in press).

Treagust, D. F., Chandrasegaran, A. L., Zain, A. N., Ong, E. T., Karpudewan, M., & Halim, L. (2011) Evaluation of an intervention instructional program to facilitate understanding of basic particle concepts among students enrolled in several levels of study. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 251-261.

Treagust, D., Nieswandt, M., & Duit, R. (2000) Sources of students difficulties in learning chemistry. *Educación Química*, 11(2), 228-235.

Vergnaud, G. (1992) Conceptual fields, problem solving and intelligent computer tools. In *Computer-based learning environments and problem solving* (pp. 287-308). Springer.

Vergnaud, G. (1994) Le rôle de l'enseignant à la lumière des concepts de schème et de champ conceptuel. In Artigue, M. et al. *Vingt ans de didactique des mathématiques en France* (pp. 177-191). La Pensée Sauvage.

Wu, H. K., & Shah, P. (2004) Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492. doi10.1002/sce.10126.

Wu, H. K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001) Promoting understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Lara Colvero Rockenbach – 25%

Daniele Trajano Raupp – 25%

Danielle Prazeres Reppold - 25%

Carlos Eduardo Schnorr – 25%