

CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE ÁTOMOS EM LICENCIANDOS: INDÍCIOS DE CICLO VICIOSO NO ENSINO DE QUÍMICA

CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE LOS ÁTOMOS EN ESTUDIANTES
DE PREGRADO: INDICIOS DE UN CÍRCULO VICIOSO EN LA ENSEÑANZA DE
LA QUÍMICA

ALTERNATIVE CONCEPTIONS ABOUT ATOMS IN UNDERGRADUATES:
INDICATIONS OF A VICIOUS CYCLE IN CHEMISTRY TEACHING

Giovanni Miraveti Carriello; Guilherme Manassés Pegoraro; Alessandro de Souza Mourato; Giovanni Pimenta Mambrini; João Batista dos Santos Junior

Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Correspondencia: Giovanni Miraveti Carriello

Correo: giovannimiraveti@gmail.com

Recibido: 2022-10-15 Aceptado: 2022-12-13

DOI: 10.17398/0213-9529.42.2.97

Resumo

Os modelos atômicos é um dos temas mais amplamente discutidos dentro das aulas de Química do Ensino Médio. Todavia, é um dos assuntos em que o professor mais tem dificuldades em trabalhar, devido à própria natureza dos modelos, que é abstrata e complexa. O presente trabalho investigou a similaridade de ideias de 40 estudantes brasileiros de licenciaturas de Química, Biologia e Física com 11 concepções alternativas sobre o átomo, detectadas em estudantes do Ensino Médio canadense em um estudo do início dos anos 1990. Várias concepções foram encontradas nos licenciandos, destacando aquelas sobre o tamanho do átomo. Isso é um indício que essas concepções são perpetuadas através de um ciclo vicioso, em que os estudantes no Ensino Médio aprendem concepções alternativas por intermédio de seus professores que, por sua vez, não conseguiram romper com tais obstáculos epistemológicos, o que evidencia a necessidade de pesquisas na área, de forma a minimizá-lo.

Palavras-chave: concepções alternativas; formação de professores; modelos atômicos; transposição didática; ciclo vicioso.

Resumen

Los modelos atómicos es uno de los temas más discutidos en las clases de química de la escuela secundaria. Sin embargo, es uno de los temas que el docente tiene más dificultades para trabajar, debido a la propia naturaleza de los modelos, que es abstracta y compleja. El presente trabajo investigó la similitud de las ideas de 40 estudiantes brasileños de pregrado en Química, Biología y Física con 11 concepciones alternativas sobre el átomo, detectadas en estudiantes de secundaria canadienses en un estudio a principios de la década de 1990. Se encontraron varias concepciones en estudiantes de pregrado, destacándose aquellas sobre el tamaño del átomo. Esto es un indicio de que estas concepciones se perpetúan a través de un círculo vicioso, en el que los estudiantes de secundaria aprenden concepciones alternativas a través de sus profesores, quienes, a su vez, no fueron capaces de romper con tales obstáculos epistemológicos, lo que resalta la necesidad de investigar en el área. para minimizarlo.

Palabras clave: concepciones alternativas; formación docente; modelos atómicos; transposición didáctica; círculo vicioso.

Abstract

The contents of atomic models are among the most widely discussed in high school chemistry classes. However, they are still one of the subjects in which the teacher has the most difficulties in working with, mainly due to the very nature of atomic models, which is abstract and complex. The present work investigated the similarity of ideas of 40 Brazilian undergraduate students in Chemistry, Biology and Physics with 11 misconceptions about the atom that were detected in Canadian high school students during the early 1990s, highlighting misconceptions involving the size of the atom. This may indicate that these conceptions are perpetuated through a vicious cycle, where high school students acquire misconceptions through their teachers who, in turn, were unable to break through such epistemological obstacles, which highlights the need for research in the area and in order to minimize this cycle.

Key-words: misconceptions; teacher training; atomic models; didactic transposition; vicious cycle.

Sección / Section:	Artículos originales.
Editora de Sección / Edited by:	Javier Cubero Juárez, Universidad de Extremadura.
Conflicto de intereses / Conflicts of Interest:	Los autores no declaran conflicto de intereses.
Agradecimientos	-
Financiación	-

INTRODUÇÃO

Carriello *et al.* (2021), argumentam que um dos conteúdos mais recorrentes nas salas de aula é o que trata do estudo sobre os modelos atômicos que, embora seja comum, ainda apresenta diversas dificuldades em seu ensino no Ensino Médio. Essas dificuldades são oriundas de vários motivos, entre eles o nível de abstração que os alunos devem ter para compreender o que são os modelos atômicos e a própria natureza do conceito de um modelo: que estes não são imutáveis e que podem ser superados por novos, os quais são propostos para suprir falhas dos modelos antigos (Gomes & Oliveira, 2007).

Neste ponto, um modelo conceitual é conforme Moreira *et al.* (2021), a representação simplificada de um fenômeno ou de um objeto real, o que acaba causando dificuldades epistemológicas nos estudantes de Ensino Médio. Nessa linha, no fim do século passado, Nakhleh (1992) ressaltava que, entre as dificuldades que estudantes possuem para aprender química, em especial tem-se o desenvolvimento de concepções de modelos que descrevem a matéria, tal como os modelos de átomo ou como moléculas. No mesmo ano, Griffiths e Preston (1992) publicaram um trabalho em que relatam várias concepções sobre átomos e moléculas que alunos do ensino médio possuíam, todas distantes dos modelos científicos.

As concepções que são distantes das científicas são ditas na literatura acadêmica como um exemplo de “concepções alternativas”, tal como nos trabalhos de Castro e Silva (2012), Silva, Campos e Almeida (2013), Kasseboehmer e Ferreira (2013), Melo e Neto (2013), Leão e Kalhil (2015), Carriello *et al.* (2021), entre outros. Esse termo vem sendo utilizado como uma tradução ao termo inglês *misconception*, presente nos trabalhos de Griffiths e Preston (1992) e Nakhleh (1992), por exemplo.

Conforme Trindade, Nagashima e Andrade (2019), é necessário, para que o pensamento científico seja desenvolvido, que haja uma ruptura de concepções prévias, quando estas são alternativas às concepções científicas. Todavia, é interessante notar que várias concepções do início dos anos 90, trazidas por Griffiths e Preston (1992), ainda estão presentes em alunos do Ensino Médio, tal como relatado por Melo e Neto (2013) e Santana, Sarmiento e Wartha (2011).

Além disso, é relatado na literatura, como nos trabalhos de Melo (2002) e Silva (2021), que professores atuantes no Ensino Médio e também professores em formação (licenciandos) apresentam dificuldades em suas concepções de modelos atômicos. Os trabalhos de Moro (2008), Gondim e Mendes (2007) e Oliveira, Brabo e Muniz (2013) trazem dificuldades de concepções muito parecidas com as relatadas por Griffiths e Preston (1992), com causas muitas parecidas com as que Nakhleh (1992) apresentou em seu trabalho.

Dados esses pontos, o presente trabalho foi instigado pela dúvida se as concepções alternativas relatadas por Alan K. Griffiths e Kirk R. Preston em 1992 em alunos do Ensino Médio estão presentes em licenciandos de cursos das ciências naturais (no caso, Química, Biologia e Física), com o objetivo de contribuir para as pesquisas e discussão sobre concepções alternativas.

Coleta de dados

O questionário foi elaborado tendo como base os resultados do trabalho de Griffiths e Preston (1992) que, no início dos anos 90, estudaram sobre a concepção de átomos e moléculas de 30 estudantes canadenses do Ensino Médio, utilizando como instrumento de coletas de dados a entrevista.

Em seu trabalho, Griffiths e Preston elaboram 11 categorias, sendo que 4 destas categorias tratavam de concepções alternativas referentes às características do átomo quanto à sua estrutura/forma, o tamanho, massa e características animistas. Estas 4 categorias que tratam sobre concepções alternativas do átomo, tal como as frases de cada uma, estão dispostas na tabela 1.

Tabela 1. Frases utilizadas no questionário aplicado.

Frases	Categoria
Um átomo se assemelha a uma esfera com componentes dentro	
Um átomo se assemelha a uma esfera sólida	A estrutura/forma dos átomos
Um átomo se parece com vários pontos/círculos	
Elétrons se movem em órbitas	
Átomos são planos	
Existe matéria entre os átomos	
Átomos são grandes o suficiente para serem vistos ao microscópio	
Átomos são maiores que moléculas	
Todos os átomos são do mesmo tamanho	
O tamanho de um átomo é determinado principalmente pelo número de prótons	O tamanho dos átomos
O calor pode resultar em uma mudança no tamanho atômico	
As colisões podem resultar em uma mudança no tamanho atômico	
Todos os átomos têm a mesma massa	A massa dos átomos
Todos os átomos estão vivos	
Apenas alguns átomos estão vivos	O animismo dos átomos
Os átomos estão vivos porque se movem	

Fonte: adaptado de Griffiths e Preston (1992).

O questionário era constituído pelas 16 frases da tabela 1, sendo que para cada frase havia um campo subsequente com as alternativas “concordo” e “discordo”, a qual o respondente deveria assinalar conforme a sua percepção. Esse questionário foi aplicado para 40 estudantes brasileiros de licenciaturas de universidades públicas, sendo 22 de Química (Quí.), 11 de Biologia (Bio.) e 7 de Física (Fis.). Todos os licenciandos da presente pesquisa já haviam cursado com aproveitamento as

disciplinas iniciais de química em seus respectivos cursos. No questionário, o respondente deveria assinalar se concorda ou discorda de cada uma das afirmações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura/forma dos átomos

Os dados referentes às frases sobre a estrutura dos átomos estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2. Dados obtidos das frases da categoria “A estrutura/forma dos átomos”.

Frases	Concordam			Discordam		
	Quí. (%)	Bio. (%)	Fís. (%)	Quí. (%)	Bio. (%)	Fís. (%)
Um átomo se assemelha a uma esfera com componentes dentro	9	18	29	91	82	71
Um átomo se assemelha a uma esfera sólida	0	0	0	100	100	100
Um átomo se parece com vários pontos/círculos	55	45	14	45	55	86
Elétrons se movem em órbitas	55	91	29	45	9	71
Átomos são planos	5	0	0	95	100	100
Existe matéria entre os átomos	45	27	14	55	73	86

Fonte: própria dos autores (2022).

A única concepção que todos os licenciandos discordaram nesta categoria é que o átomo se assemelha a uma esfera sólida. Conforme Griffiths e Preston (1992), e reafirmado por Melo e Neto (2013), uma possível fonte para essa concepção alternativa é que esferas sólidas são comumente utilizadas para representar átomos. Esse tipo de representação, conforme Moreira *et al.* (2021) e Santana (2010), ainda ocorre nos dias atuais e, se não for trabalhada com o devido cuidado pelos professores, pode fazer com que os alunos desenvolvam uma visão equivocada sobre os modelos atômicos, tal como as visões que Griffiths e Preston (1992) identificaram no começo dos anos 90, onde 27% dos alunos investigados por eles acreditavam que o átomo se assemelha à uma esfera sólida.

Ao que se trata dos licenciandos que afirmaram que os átomos são planos (segunda frase com menor incidência de concordância, com apenas 5% de Química, Griffiths e Preston (1992) dizem que uma possível razão para essa concepção é a utilização de figuras bidimensionais em diagramas para a representação do átomo.

A ideia de que um átomo se assemelha a uma esfera com componentes dentro apresenta a maior porcentagem entre os licenciandos de Física, enquanto a menor porcentagem ocorreu nos licenciandos de Química. Isso pode indicar que a abstração do átomo dentro dos licenciandos das três áreas estudadas é diferente.

Griffiths e Preston (1992) consideram em seu trabalho como um conceito errado representar o átomo como uma esfera com componentes, tal como Castro e Silva (2012), que também observaram essa representação por alunos brasileiros do Ensino Médio. Porém, os autores citam que tal imagem do átomo se distancia dos modelos atômicos atuais e que é necessário a atuação do professor para intermediar essa aprendizagem.

Ainda sobre a diferença entre os licenciandos de Química, Biologia e Física, é interessante notar que a afirmação de que os átomos se parecem com vários pontos/círculos obteve valores de concordância próximos entre Química e Biologia (55% e 45%, respectivamente). Entretanto, se nota que houve uma redução significativa nos alunos de Física, o que pode indicar uma tendência

diferente na abstração do átomo do professor de Física ao comparar com Biologia e Química. Algo similar foi observado com a ideia de que existe matéria entre os átomos, onde os licenciandos em Química apresentam maior porcentagem em acreditar que existe matéria entre os átomos (45%) e, também, quanto à ideia dos elétrons se movimentarem em órbitas, onde houve concordância de 91% dos licenciandos de biologia. Este último caso pode ser explicado tendo como base Leão e Kalhil (2015), que citam que professores de Biologia podem possuir certo despreparo para conceitos de Química e Física, porém, não é algo que se aplique aos outros dois casos supracitados.

O tamanho dos átomos

Os dados referentes às frases sobre o tamanho dos átomos estão dispostos na tabela 3.

Tabela 3. Dados obtidos das frases da categoria “O tamanho dos átomos”.

Frase	Concordam			Discordam		
	Quí. (%)	Bio. (%)	Fís. (%)	Quí. (%)	Bio. (%)	Fís. (%)
Átomos são grandes o suficiente para serem vistos ao microscópio	14	0	14	86	100	86
Átomos são maiores que moléculas	0	0	0	100	100	100
Todos os átomos são do mesmo tamanho	0	0	0	100	100	100
O tamanho de um átomo é determinado principalmente pelo número de prótons	68	64	29	32	36	71
O calor pode resultar em uma mudança no tamanho atômico	55	64	29	45	36	71
As colisões podem resultar em uma mudança no tamanho atômico	59	91	57	41	9	43

Fonte: própria dos autores (2022).

Apenas duas frases dessa categoria apresentaram 100% de discordância: que átomos são maiores que moléculas e que todos os átomos são do mesmo tamanho, indicando assim que, ao que se trata desses conceitos alternativos, os futuros professores investigados não os possuem. Contudo, esse conceito ainda é visto em alunos no Ensino Médio, como relatado por Castro e Silva (2012), onde alunos acreditavam que átomos são compostos por moléculas de carbono, sendo estas vivas.

Nota-se que a afirmação de que átomos são grandes o suficiente para serem vistos ao microscópio é a terceira afirmação com menor concordância (14% de Quí., 0% e Bio. e 14% de Fís.). Ela foi tratada por Griffiths e Preston (1992) como um equívoco. Deve-se levar em consideração o período que a pesquisa foi realizada, visto que estudos como o de Zhou *et al.* (2012) já relatam a microscopia de um único átomo.

Sendo assim, pode-se entender que os licenciandos que afirmaram que é possível ver o átomo com a utilização do microscópio compreendem essa evolução da ciência. Todavia, também é possível interpretar que os licenciandos acreditem que é possível que um átomo isolado seja observável diretamente com o olho humano utilizando um microscópio, uma vez que não se sabe ao certo o que os licenciandos entendem como “serem vistos”, se é ou não sinônimo de se obter uma imagem instrumental. Além disso, não se sabe ao certo qual foi o conceito que os alunos compreenderam como “microscópio”, visto que não são todos que conseguem obter a imagem de um átomo isolado (Neves, Vilela & Andrade, 1998). Esse tipo de problemática pode se dar, conforme Martínez (2021), à compreensão que cada indivíduo tem com as palavras polissêmicas, aquelas que apresentam mais de um significado a depender contexto.

As demais afirmações apresentaram sempre mais de 50% de concordância em todos os grupos, com exceção de duas frases no grupo de licenciandos em Física. A primeira, que o tamanho de um átomo é determinado principalmente pelo número de prótons, apresenta um direto erro de definição, visto que a própria definição de átomos da IUPAC afirma que o que determina o tamanho são os elétrons (IUPAC, 1997).

A afirmação que diz que o tamanho de átomo pode ser alterado por calor, conforme Griffiths e Preston (1992), pode ser originária da ideia que um material ao se aquecido consegue ser expandido. Isto é, a observação de algo macroscópico que é erroneamente transposta aqui a nível microscópico que, conforme Pauletti, Rosa e Catelli (2014), é devido à dificuldade recorrente do aprendizado de Química, devido ao próprio caráter da Química, visto que estuda fenômenos em nível microscópico que exigem abstração do estudante. O mesmo pode ter acontecido quando se trata da ideia de colisões conseguirem alterar o tamanho do átomo.

A massa dos átomos

Os dados da frase referente à massa dos átomos estão dispostos na tabela 4.

Tabela 4. Dados obtidos das frases da categoria “A massa dos átomos”.

Frase	Concordam			Discordam		
	Quí. (%)	Bio. (%)	Fís. (%)	Quí. (%)	Bio. (%)	Fís. (%)
Todos os átomos têm a mesma massa	5	0	0	95	100	100

Fonte: própria dos autores (2022).

Em geral, o erro conceitual reportado por Griffiths e Preston (1992) quase não foi encontrando dentro do universo estudado, visto que somente 1 licenciando (5% de Quí.) concordou com que todos os átomos possuem a mesma massa. Esse mesmo licenciando concordou que os átomos se parecem com vários pontos/círculos, que o tamanho do átomo é principalmente determinado pelo número de prótons, discordou que o calor altera o tamanho do átomo e também que o átomo se assemelha a uma esfera sólida. Nota-se que, implicitamente, o aluno apresenta um conceito que átomos possuem densidades diferentes, visto que considera que a massa de todos os átomos é igual, porém, o seu tamanho iria variar conforme o número de prótons.

O animismo dos átomos

Os dados referentes às frases sobre o animismo dos átomos estão dispostos na tabela 5.

Tabela 5. Dados obtidos das frases da categoria “A massa dos átomos”.

Frase	Concordam			Discordam		
	Quí. (%)	Bio. (%)	Fís. (%)	Quí. (%)	Bio. (%)	Fís. (%)
Todos os átomos estão vivos	14	9	0	86	91	100
Apenas alguns átomos estão vivos	5	0	0	95	100	100
Os átomos estão vivos porque se movem	0	9	0	100	91	100

Fonte: própria dos autores (2022).

Griffiths e Preston (1992) encontraram em seu trabalho que mais da metade dos estudantes de Ensino Médio acreditavam que os átomos estavam vivos, sendo que uma possibilidade dessa crença seria oriunda da ideia de que átomos se movimentam por conta própria, o que poderia ser explicado se estivessem vivos. Mais recentemente, Leite, Silveira e Dias (2006) indicam outra possível fonte para essas concepções alternativas: os livros didáticos. Nesses materiais, muitas vezes os átomos são representados com feições humanas e dotados de características humanas, tal como a capacidade de ter sentimentos.

Todavia, apenas 1 licenciando (equivalente a 9% de Bio.) concordou com a afirmação de que átomos estão vivos porque se movem. Dos demais, 14% dos licenciandos de química acreditaram que todos os átomos estão vivos, mas sem justificar pelo movimento, tal como os 5% que acreditam que somente alguns átomos estão vivos, o que, conforme Griffiths e Preston (1992), pode ser uma percepção que todas as matérias orgânicas estão vivas. Percebe-se que os licenciandos de Física foram os únicos que discordaram totalmente de todas as afirmações relacionadas ao animismo do átomo. Concepções sobre animismos do átomo foram detectadas por Castro e Silva (2012) e Santana, Sarmiento e Wartha (2011), em que alunos do ensino médio afirmam que eles se multiplicam como células, ou, até mesmos, são constituídos por células.

Transposição didática

Chavellard (1991) refere-se a esse processo como uma tentativa de converter um dado objeto de saber científico em um objeto a ser ensinado. Todavia, caso o professor não tenha domínio conceitual do objeto de saber científico, o ensino final poderá ficar comprometido ou sofrer um reducionismo conceitual que empobrecerá a aprendizagem científica. Dentro desta perspectiva, seria possível inferir uma possível explicação para o fenômeno observado. Neste sentido recorre-se as ideias de Salfate e Espinoza (2006), os quais, ao realizarem uma revisão história das obras que contribuindo para o atual saber científico sobre Equilíbrio Químico, constataram que obras clássicas utilizadas pelos professores para o ensino de Química Analítica e Química Inorgânica apresentam uma simplificação conceituais, o que pode ser um indício de uma transposição didática, afetando a aprendizagem dos estudantes.

No caso de nossos resultados, inferimos que seria possível que as concepções alternativas seriam o resultado de simplificações feitas pelo professor que comprometerem o aprendizado dos alunos. Nagashima e Andrade (2019), alertam que a transposição didática mal conduzida pode acarretar em um obstáculo epistemológico, conceito proposto por Bachelard durante o século XX. Os obstáculos devem ser superados para que o conhecimento científico seja desenvolvido. No caso da presente pesquisa, que se investigou licenciandos, cabe ressaltar que, posteriormente, eles serão os professores, os quais poderão continuar passando esses contextos para os seus alunos que, eventualmente, poderão tornar-se professores (seja no nível de Ensino Médio ou universitário), obtendo assim um fenômeno semelhante ao descrito por Guimarães (1987) e Marinho, Leite e Fernandes (2013) para outras situações. Este fenômeno é denominado de “ciclo vicioso”, no qual as consequências de uma determinada ação levam, ao final, a uma situação que retorna ao estado antes da ação ser realizada. Nesse caso, a ruptura do obstáculo epistemológico significaria também um auxílio para a quebra do ciclo vicioso.

Percebe-se que várias concepções distintas da científica sobre o átomo, detectados por Griffiths e Preston em 1992 em alunos do ensino médio, ainda estão presentes nos dias atuais, como pode ser visto na presente pesquisa com licenciandos ou na literatura, tal como evidenciado pelos trabalhos de Flores-Camacho *et al.* (2007) Santana (2010), Castro e Silva (2012), Melo, Gomes e

Neto (2013), Silva (2013), Leão e Kalhil (2015), Lazenby *et al.* (2019). Mesmo sendo os modelos atômicos ainda, conforme Carriello *et al.* (2021), um dos mais trabalhados em sala de aula e também um dos que mais se apresentam dificuldades, embora alguns se tenham o indício de que os conceitos alternativos que um átomo se assemelha a uma esfera sólida, que átomos são maiores que moléculas e que todos os átomos são do mesmo tamanho estejam sendo superados dentro desse ciclo vicioso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando com o trabalho de Alan K. Griffiths e Kirk R. Preston realizado no Canadá em 1992 com estudantes do Ensino Médio, apenas os conceitos alternativos que um átomo se assemelha a uma esfera sólida, que átomos são maiores que moléculas e que todos os átomos são do mesmo tamanho não foram identificados na presente pesquisa. A discordância com a afirmação de que um átomo se assemelha a uma esfera sólida pode ser um indicativo de que os futuros professores que responderam possuem entendimento do modelo atômico diferente da visão de Dalton.

No entanto, é alarmante que ainda sejam encontradas concepções alternativas em estudantes de licenciatura da década de 20 semelhantes às concepções de alunos do Ensino Médio do início dos anos 1990, com destaque às concepções: o tamanho de um átomo é determinado principalmente pelo número de prótons, que o calor pode resultar em uma mudança no tamanho atômico e que as colisões podem resultar em uma mudança no tamanho atômico, encontradas em mais de 50% dos licenciandos estudados.

Isso pode ser um indício de que existe um ciclo vicioso, em que os professores com concepções alternativas passam para os seus alunos que, por sua vez, se tornam professores, fazendo com que o ciclo continue.

Faz-se necessário estudar formas de quebrar esse ciclo vicioso. Para tal, seria interessante estudar também quais são as concepções que os professores universitários dos cursos de licenciatura possuem e também formas de conseguir superar esses conhecimentos dos alunos pois, caso contrário, as pesquisas recentes ainda continuarão mostrando problemas do século passado e que ainda não foram superados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carriello, G. M., Pegoraro, G. M., Batista, J. R. D., Fernandes Filho, J., & Santos Junior, J. B. (2021). Uma estratégia para o ensino de modelos atômicos baseada nos três momentos pedagógicos. *Revista Debates em Ensino de Química*, 7(1), 166-185. <https://doi.org/10.53003/redequim.v7i1.3743>
- Castro, D. L., & Silva, T. I. (2012). Teoria atômica na concepção de alunos de turmas de 1º ano do ensino médio, através de avaliação da representação por desenhos. *Experiências em Ensino de Ciências*, 7(3), 97-109. https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID209/v7_n3_a2012.pdf
- Chevallard, Y., (1991). *La transposición didáctica: "Del saber sabio al saber enseñado"*, Aique Grupo Editor S.A., Buenos Aires.
- Flores-Camacho, F., Gallegos-Cázares, L., Garriz, A., & García-Franco, A. (2006). Incommensurability and Multiple Models: Representations of the Structure of Matter in Undergraduate Chemistry Students. *Science & Education*, 16(7-8), 775–800. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9049-3>
- Gomes, H. J. P., & Oliveira, O. B. Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. *Ciências & Cognição*, 12, 96-109. <http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/646>

- Gondim, M. S. C., & Mendes, M. R. M. (2007, novembro). Concepções alternativas na formação inicial de professores de química: pressuposto para uma reflexão sobre o processo ensino/aprendizagem. *Anais do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência*, Florianópolis, SC, Brasil, 6.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of research in Science Teaching*, 29(6), 611-628. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290609>
- Guimarães, H. M. (1987). Um ciclo vicioso. *Educação e Matemática*, (2), 9-10. <https://em.apm.pt/index.php/em/article/download/25/19>
- IUPAC. (1997). *Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book")*. Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Online version (2019-) created by S. J. Chalk. ISBN 0-9678550-9-8. <https://doi.org/10.1351/goldbook>.
- Kasseboehmer, A. C., & Ferreira, L. H. (2013). Elaboração de hipóteses em atividades investigativas em aulas teóricas de química por estudantes de ensino médio. *Química nova na Escola*, 35(3), 158-165. http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_3/04-RSA-15-12.pdf
- Lazenby, K., Rupp, C. A., Brandriet, A., Mauger-Sonnek, K., & Becker, N. M. (2019). Undergraduate chemistry students' conceptualization of models in general chemistry. *Journal of chemical education*, 96(3), 455-468. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00813>
- Leão, N. M. M., & Kalhil, J. B. (2015). Concepções alternativas e os conceitos científicos: uma contribuição para o ensino de ciências. *Latin-American Journal of Physics Education*, 9(4), 12. http://www.lajpe.org/dec15/4601_Nubia.pdf
- Leite, V. M., Silveira, H. E. D., & Dias, S. S. (2006). Obstáculos epistemológicos em livros didáticos: um estudo das imagens de átomos. *Candombá-Revista Virtual*, 2(2), 72-79. <http://revistas.unijorge.edu.br/candomba/2006-v2n2/pdfs/HelderEternodaSilveira2006v2n2>
- Marinho, P., Leite, C., & Fernandes, P. (2013). A avaliação da aprendizagem: um ciclo vicioso de "testinite". *Estudos Em Avaliação Educacional*, 24(55), 304-334. <https://doi.org/10.18222/eae245520132728>
- Martínez, L. M. (2021). Nombrar, definir y delimitar: Modesto Bargalló y la terminología química (1947-1973). *Educación química*, 32(1), 122-132. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.1.75877>
- Melo, M. R. (2002). *Estrutura atômica e ligações químicas – uma abordagem para o ensino médio*. Dissertação. Universidade Estadual de Campinas.
- Melo, M. R., & Neto, E. D. L. (2013). Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em química. *Química nova na escola*, 35(2), 112-122. http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_2/08-PE-81-10.pdf
- Moreira, A. C. L., da Silva, D. M., Mota, D. S., & de Farias, D. R. (2021). Modelos atômicos: correlações entre aspectos representacionais e a essência do conhecimento. *Revista Debates em Ensino de Química*, 7(1), 186-200. <https://doi.org/10.53003/redequim.v7i1.3382>
- Moro, P. A. M. (2008). *Concepções Alternativas de Calouros de Química Sobre Conceitos Fundamentais da Química Geral*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed069p191>
- Neves, B. R. A., Vilela, J. M. C., & Andrade, M. S. (1998). Microscopia de varredura por sonda mecânica: uma introdução. *Cerâmica*, 44, 212-219. <https://doi.org/10.1590/S0366-69131998000600002>
- Oliveira, M. E. S., Brabo, J. C., & Muniz, A. A. M. (2013, novembro). Modelos atômicos de futuros professores de Química: teorias científicas ou representações sociais? *Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência*, Águas de Lindóia SP, Brasil, 9.
- 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. <https://doi.org/10.3895/S1982-873X2014000300008>
- Salfate, M. A., & Espinoza, R. L. (2006). Transposición didáctica. Una aplicación a la Química. *Educación Química*, 17(3), 328-334. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2006.3.66035>
- Santana, K., Sarmiento, V., & Wartha, E. (2011). Modelos atômicos e estrutura celular: uma análise das ideias dos estudantes de Química do Ensino Médio. *Revista De Ensino De Ciências E Matemática*, 2(2), 110-122. <https://doi.org/10.26843/rencima.v2i2.60>
- Santana, R. J. (2010). *Formação e atuação do professor de química : um estudo sobre a transposição didática dos modelos atômicos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe.
- Silva, F. C. V.; Campos, A. F.; Almeida, M. A. V. (2013) Concepções Alternativas de Licenciandos em Química Sobre Radioatividade. *Experiências em Ensino de Ciências*, 8(1), 87-97. <https://periodicos.ufpa.br/index.php/revistaamazonia/article/view/2185>

- Silva, S. M. (2021). *Ensino aprendizagem de modelos atômicos: obstáculos e possibilidades na visão de professores em formação inicial e professores atuantes*. Monografia. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Trindade, D. J., Nagashima, L. A., & Andrade, C. C. (2019). Obstáculos epistemológicos sob a perspectiva de Bachelard. *Brazilian Journal of Development*, 5(10), 17829-17843. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n10-050>
- Zhou, W., Oxley, M., Lupini, A., Krivanek, O., Pennycook, S., & Idrobo, J. (2012). Single Atom Microscopy. *Microscopy and Microanalysis*, 18(6), 1342-1354. doi: <https://10.1017/S1431927612013335>