



() CTS () CA () EAM () ENF (x) EAP () EX () FP () HFS () IDD () LEQ () MD () PEQ () TIC

Evolução Conceitual sobre Forças de London no Ensino Médio: Uma Análise Epistemológica à Luz de Lakatos

Bárbara Cristina Caldas de Ávila (PG)

Universidade Federal de Ouro Preto, barbara.avila@aluno.ufop.edu.br

Jacqueslayne de Oliveira Chaves (PG)

Universidade Federal de Ouro Preto, jacqueslayne.chaves@aluno.ufop.edu.br

Ana Carolina Gomes Miranda (PQ)

Universidade Federal de Ouro Preto, ana.miranda@ufop.edu.br

Resumo

No presente trabalho, apresentamos uma investigação realizada em uma instituição federal de ensino com 29 estudantes do 1º ano do ensino médio, voltada para o estudo do ensino e aprendizagem das forças intermoleculares, com ênfase especial nas forças de London. O principal objetivo da pesquisa foi analisar a evolução conceitual dos alunos por meio de seus modelos explicativos sobre a natureza dessas interações, investigando como construíam, ajustavam e aprofundavam suas compreensões ao longo do processo de aprendizagem. Para tanto, utilizou-se uma sequência didática (SD), que permitiu acompanhar sistematicamente tanto os acertos quanto as dificuldades conceituais. O estudo apoia-se na perspectiva de Lakatos, buscando compreender se os modelos explicativos dos estudantes evoluem por meio de sequências de transição progressiva, ampliando seu poder explicativo e heurístico. Os resultados indicam que muitos estudantes avançaram conceitualmente, e que as atividades propostas favoreceram a construção de modelos explicativos mais integrados, consistentes e articulados, ampliando a capacidade de interpretar os fenômenos a partir de diferentes níveis de representação da matéria.

Palavras-chave: Forças de London. Ensino de Química. Transição progressiva.

Introdução

Os três pilares fundamentais da Química: estrutura atômica, ligações químicas e forças intermoleculares, constituem a base para a compreensão da natureza íntima da matéria e de suas transformações. A interpretação de fenômenos cotidianos sob a perspectiva científica exige o domínio dos conceitos relacionados aos átomos e às formas de interação entre eles (Pazinato *et al.*, 2021). Nesse contexto, as interações intermoleculares assumem papel central, uma vez que determinam propriedades físicas dos materiais, como temperaturas de fusão e ebulição, solubilidade, densidade e viscosidade, além de estarem presentes em múltiplas aplicações científicas e tecnológicas.

Essa relevância está presente nas diretrizes educacionais brasileiras. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (MEC, 1998) orientam que o ensino médio relacione propriedades das substâncias às interações entre átomos, moléculas ou íons, bem como às aplicações tecnológicas. A Base Nacional Comum Curricular (MEC, 2018) reforça essa perspectiva ao enfatizar o uso de códigos e nomenclaturas da Química, a aplicação de métodos científicos e a associação entre propriedades e funções dos materiais.

Assim sendo, este estudo propõe-se a investigar como ocorre a evolução conceitual dos estudantes do ensino médio sobre as forças de London ao longo de uma sequência didática fundamentada na perspectiva lakatosiana, analisando suas sequências de transição progressiva e a capacidade de integrar os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico da matéria.

Para que esses objetivos sejam alcançados, o aprendizado de conceitos químicos deve articular os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico da matéria (Johnstone, 1982, 2009). O macroscópico envolve propriedades observáveis, o submicroscópico explica esses fenômenos com base em partículas e interações, e o simbólico utiliza representações como fórmulas e equações. A integração desses níveis é essencial para interpretar fenômenos e compreender o conhecimento científico.

Pesquisas indicam que estudantes têm dificuldade em transitar entre os níveis de representação, especialmente em conteúdos abstratos como forças intermoleculares (Torres, Landau, Baumgartney & Monteserin, 2010), e que o ensino desse tema no ensino médio é limitado, favorecendo concepções alternativas aos modelos científicos (Santos, Almeida & Filho, 2020; Cooper, Williams & Underwood, 2015). Nesse contexto, Miranda, Pazinato e Braibante (2018), em revisão bibliográfica, identificaram equívocos recorrentes, como a confusão entre forças intermoleculares e ligações químicas, a ideia de que forças intermoleculares são mais intensas que intramoleculares, a crença de que moléculas com

hidrogênio sempre formam ligações de hidrogênio e a suposição de que a intensidade da interação cresce proporcionalmente à quantidade de hidrogênios, o que motivou a elaboração de uma Sequência Didática (SD) voltada à aprendizagem alinhada aos modelos científicos contemporâneos.

A superação das concepções alternativas requer uma abordagem que incorpore a construção histórica e epistemológica do conhecimento científico (Carey, 1985; Gil-Pérez, 1993; Duschl & Gitomer, 1994; Niaz, 1998). Nesse sentido, a “Metodologia dos Programas de Investigação Científica” (Lakatos, 1971) oferece um quadro teórico potente para analisar a evolução dos modelos explicativos, concebendo-os como estruturados em um núcleo teórico central protegido por hipóteses auxiliares e orientado por regras heurísticas. Tal perspectiva permite identificar se a aprendizagem se desenvolve por meio de transições progressivas, nas quais o poder explanatório e heurístico dos modelos é ampliado (Niaz, 2001; Mion & Angotti, 2005).

Embora as forças de London sejam fundamentais para a compreensão das interações intermoleculares e, conseqüentemente, para a explicação de fenômenos físicos e químicos, persistem dificuldades significativas em sua aprendizagem. A literatura aponta que são raros os estudos que, sob a ótica lakatosiana, investigam como estudantes constroem e transformam seus modelos explicativos sobre esse conceito, articulando os diferentes níveis de representação da matéria.

Diante dessa lacuna, este estudo propõe-se a investigar como ocorre a evolução conceitual dos estudantes do ensino médio sobre as forças de London ao longo de uma sequência didática fundamentada na perspectiva lakatosiana, analisando suas sequências de transição progressiva e a capacidade de integrar os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico da matéria.

Metodologia

O presente estudo segue os princípios da pesquisa mista (Creswell; Clark, 2010) e envolveu 29 estudantes do 1º ano do ensino médio de uma instituição federal de ensino. A coleta de dados foi realizada por meio de questionários aplicados antes, durante e após o desenvolvimento de uma sequência didática (SD) sobre forças intermoleculares. A SD foi estruturada com base nos pressupostos teóricos de Zabala (1998) e na adaptação dos critérios estruturantes propostos por Dolz, Noverraz e Schneuwly (2004) e por Guimarães e Giordan (2011).

Segundo Guimarães e Giordan (2011), as SD consistem em atividades progressivas com níveis crescentes de complexidade cognitiva, que orientam os estudantes na resolução de problemas. Para Zabala (1998), são conjuntos articulados de atividades planejadas para atingir objetivos educacionais e também para refletir e aprimorar a prática docente, envolvendo decisões sobre conteúdos, recursos, espaços, tempo e métodos de avaliação.

A SD abordou os conceitos essenciais das forças intermoleculares e sua influência nas propriedades físicas da matéria, distribuídos em três unidades didáticas (UD): (1) Natureza das forças intermoleculares, em seis horas/aula, voltada à compreensão das interações eletrostáticas entre moléculas; (2) Força de London e dipolo-dipolo, também em seis horas/aula, dedicada à exploração da formação de dipolos elétricos e suas interações; e (3) Ligação de hidrogênio, com seis horas/aula, enfocando sua natureza eletrostática em nível atômico-molecular.

Este estudo concentrou-se na unidade sobre forças de London, devido à dificuldade recorrente dos estudantes em compreendê-la (Miranda, Pazinato & Braibante, 2018). As respostas dos questionários foram transcritas, organizadas em planilhas e categorizadas, permitindo identificar padrões de compreensão, dificuldades e evolução conceitual, além de avaliar como os alunos relacionam teoria, representação molecular e propriedades físicas, e a eficácia da SD em promover uma aprendizagem significativa.

No que tange à análise dos dados, com o propósito de avaliar a evolução conceitual dos estudantes, o procedimento foi estruturado em quatro etapas:

Etapa I: As respostas foram transcritas em planilhas *Excel*® e categorizadas segundo Pazinato et al. (2021) nas três fases da pesquisa (inicial, intermediária e final). Cada resposta recebeu um *score*: 1 para realista, 2 para empirista e 3 para racionalista.

Etapa II: Calculou-se a média dos *scores* de cada estudante por fase, definindo faixas para cada zona filosófica e identificando a origem predominante do conhecimento, conforme a **Figura 1**. Esse procedimento considera a pluralidade de pensamento, já que um mesmo conceito pode gerar respostas em diferentes zonas, e foi aplicado a todos os participantes em todas as fases.

Figura 1 – Faixa de Scores.



Fonte: Produzidos pelos autores.

Etapa III: Empregou-se a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA) para agrupar estudantes com respostas semelhantes (Hair, 2005), usando o software Pirouette® com as médias das três fases. A técnica otimizou a análise das sequências de transição progressiva, formando subgrupos de padrões de respostas similares.

Etapa IV: Para cada grupo formado, um estudante foi selecionado aleatoriamente para representar as ideias do grupo, possibilitando demonstrar a análise da transição progressiva, ou seja, a evolução conceitual ao longo da abordagem do conteúdo.

Adicionalmente, os níveis de representação da matéria foram considerados na avaliação das sequências de transição progressiva, adaptando-se as categorias propostas por Martorano (2012), conforme apresentado na **Figura 2**.

Figura 2 – Descrição das categorias propostas para os níveis de representação da matéria.

Categoria	Descrição
MEM – Modelo explicativo macroscópico	Poderão se enquadrar nesta categoria os estudantes que apresentarem suas representações pictográficas somente com características macroscópicas, ou seja, representações descritivas e funcionais dos fenômenos em estudo.
MES – Modelo explicativo submicroscópico	Farão parte desta categoria os estudantes que representarem os fenômenos, por meio de entidades do mundo submicroscópico e pela utilização termos específicos da Química.
MEV – Modelo explicativo vinculado	Os estudantes se enquadrarão nesta categoria, se fizerem relações vinculadas entre os níveis submicroscópico e macroscópico, bem como representação dos fenômenos por meio de modelos aceitos cientificamente.

Fonte: Produzidos pelos autores.

A etapa final da análise das sequências de transição progressiva centrou-se em dois aspectos essenciais. O primeiro refere-se à compreensão e à integração dos conceitos teóricos relacionados ao conteúdo estudado, observados a partir das zonas filosóficas. O segundo diz respeito à habilidade dos estudantes de transitar entre os distintos níveis de representação da matéria, avaliando se são capazes de descrever os fenômenos no nível macroscópico, interpretá-los em termos atômico-moleculares no nível submicroscópico e representá-los por meio de notações e símbolos químicos no nível simbólico.

Resultados e Discussão

A análise das respostas dos 29 estudantes evidenciou diferentes padrões de compreensão

sobre as forças de London, que podem ser observados a partir das três fases da pesquisa (inicial, intermediária e final). Os resultados são apresentados em dois blocos: processo de categorização inicial (Etapas I e II) e HCA e transição progressiva (Etapas III e IV).

Processo de categorização inicial – Etapas I e II

Foram examinadas 174 respostas provenientes de 29 estudantes. Na fase inicial, observou-se que 55% dos participantes apresentavam concepções não científicas acerca da natureza das forças intermolecular, mais especificamente das forças de London, predominantemente vinculadas ao senso comum.

Esses achados corroboram os resultados obtidos por Miranda, Pazinato e Braibante (2018), que identificaram concepções ingênuas recorrentes entre estudantes ao abordar o tema. Aprender Química requer a apropriação de modos de pensar, lógicas e linguagens próprias da ciência, distanciando-se da realidade imediata para reinterpretá-la a partir de fundamentos científicos.

Na categoria empirista, identificou-se que 44,8% dos estudantes empregavam alguns termos científicos, ainda que de forma pouco articulada. Embora apresentassem maior grau de abstração que os classificados como realistas, não conseguiam estabelecer conexões robustas entre conceitos, provavelmente devido à predominância de observações indutivas não problematizadas.

Na fase intermediária, houve evolução conceitual, com menor uso de termos do senso comum. Contudo, 58,6% dos participantes ainda fundamentaram suas respostas na observação neutra e em regras gerais. Para Davydov (1972), na perspectiva empirista, a formação conceitual parte da percepção sensorial de objetos singulares, o que, ancorado em experiências prévias, pode limitar a elaboração de conceitos mais complexos.

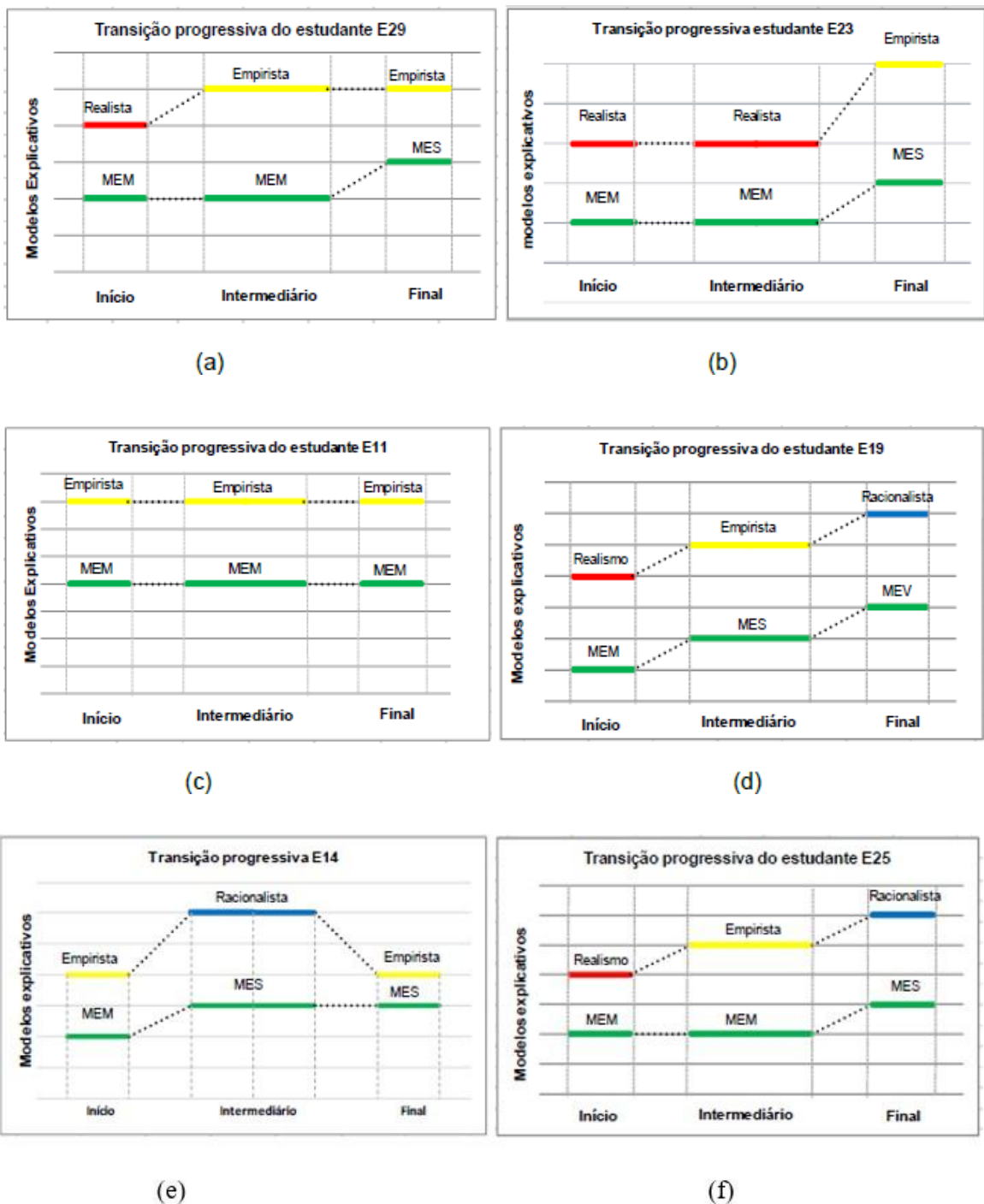
Na fase final, 52% dos estudantes mantiveram concepções iniciais influenciadas pelo senso comum. Para Niaz (1998), convicções resistentes a mudanças assemelham-se ao “núcleo duro” de um PIC, cuja alteração pode comprometer o desenvolvimento do programa. Os estudantes tendem a defendê-las por meio de “hipóteses auxiliares” que, embora dificultem a mudança, podem subsidiar estratégias pedagógicas inovadoras.

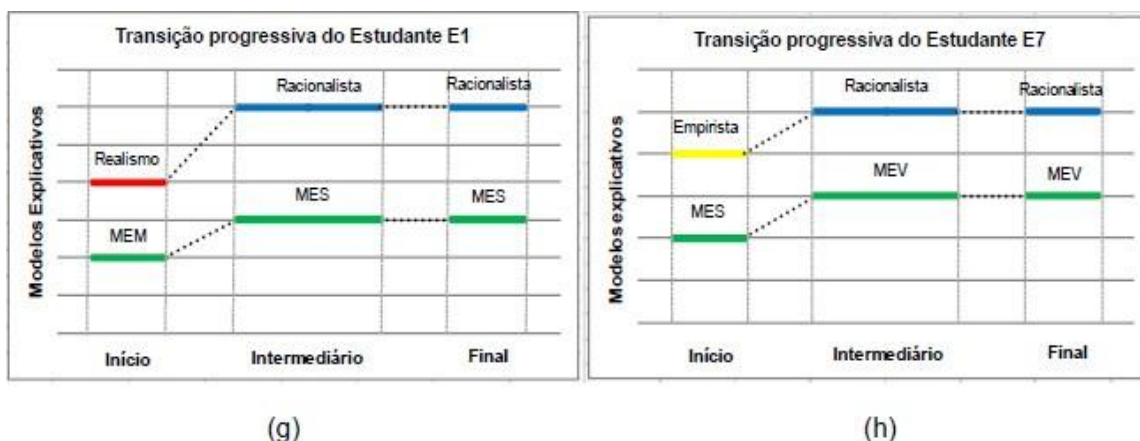
A compreensão de concepções alternativas exige interpretação baseada em pressupostos epistemológicos para possibilitar sua transformação. Lakatos (1970) aponta que, na ciência, o núcleo de um programa evolui gradualmente por tentativa e erro. Do mesmo modo, o aprendizado requer tempo e metodologias que favoreçam a superação de convicções arraigadas.

Etapas III e IV – HCA e transição progressiva

A transição progressiva foi analisada considerando (i) a compreensão das forças de London segundo as zonas filosóficas e (ii) a capacidade de transitar entre níveis de representação da matéria. Aplicou-se a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (Hair, 2005), organizando 29 estudantes em oito grupos, de cada um dos quais foi selecionado um participante representativo (E1 a E29). A **Figura 3** apresenta a evolução dos modelos explicativos dos estudantes selecionados (E29, E23, E11, E19, E14, E25, E1 e E7).

Figura 3: *Transição progressiva dos estudantes escolhidos nas três fases da pesquisa.*





Fonte: Produzidos pelos autores.

De forma geral, verificou-se que as atividades sobre forças de London favoreceram a transição progressiva dos estudantes E19 (Grupo IV), E25 (Grupo VI), E1 (Grupo VII) e E7 (Grupo VIII). O estudante E14 (Grupo V) evoluiu de concepções empiristas para racionalistas na fase intermediária, mas apresentou regressão na etapa final. Essa oscilação pode estar relacionada à forte convicção de que o conhecimento científico deriva exclusivamente de dados experimentais, conferindo-lhe caráter objetivo e definitivo. Tais concepções, de difícil superação, requerem atenção pedagógica especial.

Esse padrão foi igualmente observado nos estudantes E29 (Grupo I), E23 (Grupo II) e E11 (Grupo III). Este último não apresentou evolução conceitual nas três fases, mantendo-se na zona empirista. Suas representações pictográficas permaneciam restritas ao nível macroscópico, sem articular as dimensões submicroscópica e simbólica, evidenciando dificuldades em relacionar o observável ao inobservável.

No conjunto, verificou-se que 48% dos estudantes evoluíram conceitualmente ao longo da intervenção. Por outro lado, aproximadamente 52% mantiveram concepções empiristas, possivelmente em decorrência de práticas de ensino ainda fortemente centradas na observação e memorização neutra de fenômenos. Conforme defendem Pozo e Crespo (2009), o conhecimento químico deve ser apresentado como construção histórica e provisória, permitindo que o estudante participe ativamente do processo de elaboração conceitual e supere visões lineares, simplistas e indutivas.

Quanto à capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, as atividades propostas mostraram-se eficazes para a maioria, com exceção de oito estudantes, todos do Grupo III, que mantiveram modelos exclusivamente macroscópicos. Tal limitação, como evidenciado no caso do estudante E11, decorre da dificuldade em estabelecer inter-

relações conceituais necessárias para compreender fenômenos em nível atômico-molecular.

Conclusão

Lakatos (1989) ressalta que o pensamento científico se desenvolve por meio do constante confronto de ideias, enfatizando a necessidade de um processo dinâmico e reflexivo para a construção do conhecimento. Nessa perspectiva, a aprendizagem requer a reorganização progressiva das concepções, favorecendo a evolução do entendimento.

A pesquisa atingiu seu objetivo ao analisar a evolução conceitual de estudantes do ensino médio sobre as forças de London. O acompanhamento das ideias ao longo da SD mostrou que muitos alunos avançaram conceitualmente e que, de maneira geral, as atividades propostas favoreceram a evolução dos modelos explicativos. Observou-se, ainda, que a abordagem detalhada das forças intermoleculares, com ênfase nas forças de London, possibilitou interpretar os fenômenos estudados a partir dos distintos níveis de representação da matéria, promovendo uma compreensão mais integrada, consistente e significativa do conteúdo.

A principal contribuição deste estudo consiste em evidenciar o potencial de uma abordagem epistemologicamente fundamentada para promover a transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes. Além disso, reforça-se a importância de integrar discussões epistemológicas nos currículos de formação inicial e continuada de professores, ampliando sua capacidade de propor práticas pedagógicas inovadoras e críticas.

Em termos de implicações, recomenda-se que o ensino das forças intermoleculares, em especial das forças de London, seja desenvolvido de forma contextualizada e problematizadora, a fim de superar concepções empiristas persistentes e favorecer a compreensão do conhecimento científico como processo dinâmico e provisório. Futuras investigações poderão explorar como diferentes estratégias didáticas, em distintos contextos escolares, contribuem para ampliar a evolução conceitual dos estudantes.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e contou com o apoio institucional da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Referências

Carey, S. (1985). **Conceptual change in childhood**, Cambridge, United States of America:

MIT press.

Cooper, M. M., Williams, L. C., & Underwood, S. M. (2015). **Student understanding of intermolecular forces: a multimodal study**. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1288-1298. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00169>

Creswell, J. W.; Clark, V. L. P. **Designing and conducting mixed methods research**. Thousand Oaks: Sage, 2010.

Davydov, V. V. (1972). **Tipos de generalización en la enseñanza**. Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación. Recuperado de <https://docero.com.br/doc/xexxxxn>

Dolz, J. Noverraz, M., & Schneuwly, B. (2004). Sequências didáticas para o oral e a escrita: apresentação de um procedimento. In R. Rojo & G. S. Cordeiro (Orgs). **Gêneros orais e escritos na escola** (21a ed.) São Paulo, SP: Mercado de Letras.

Duschl, R. A., & Gitomer, D. H. (1994). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. **Journal of Research in Science Teaching**. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280909>

Gil- Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de um modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, 11(2), 197-212. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4537>

Guimarães, Y. A. F., & Giordan, M. (2011). Instrumento para construção e validação de sequências didáticas em um curso a distância de formação continuada de professores. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, VIII. Anais. Campinas, SP. Recuperado de http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viii/enpec/resumos/R0875-2.pdf

Hair, J. R. (2005). **Análise Multivariada de Dados** (5a ed.). Rio de Janeiro, RJ: Bookman.
Johnstone, A. H. Macro and microchemistry. (1982). **The School Science Review**, 64(227), 377-379.

Johnstone, A. H. (2009). You Can't Get There from Here. **Journal of Chemical Education**, 87(1), 22-29. <https://doi.org/10.1021/ed800026d>

Laburú, C. E., & Niaz, M. (2002). A Lakatosian Framework to Analyze Situations of Cognitive Conflict and Controversy in Students' Understanding of Heat Energy and Temperature. **Journal of Science Education and Technology**, 11(3). <https://doi.org/10.1023/A:1016064301034>

Lakatos, I., & Musgrave, A. (1970). **Criticism and the Growth of Knowledge**. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139171434>

Lakatos, I. (1971). History of Science and its Rational Reconstruction. **Boston Studies in the Philosophy of Science**, 13(6), 28-41.

_____. (1989). **La metodología de los programas de investigación científica** (2a ed.) Madrid, España: Alianza.

Martorano, S. A. A. (2012). **transição progressiva dos modelos de ensino sobre cinética química a partir do desenvolvimento histórico do tema**. (Tese de doutorado), Departamento de Química, Universidade de São Paulo, SP. Recuperado de <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81132/tde-25022013-124601/pt-br.php>

Miranda, A. C. G., Pazinato, M. S., & Braibante, M. E. F. (2018). Tendências do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares a partir da análise de publicações em periódicos nacionais e internacionais, **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencia**, 17(2), 394-419. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC_17_2_06_ex1290.pdf

MEC – Ministério da Educação e do Desporto (1998). **Parâmetros curriculares nacionais: Ciências naturais**. Brasília, DF: MEC/SEF. Recuperado de <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencias.pdf>

MEC – Ministério da Educação. (2018). **Base Nacional Comum Curricular**. Ministério da Educação. Brasília, DF: MEC. Recuperado de http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf

MION, R. A.; ANGOTTI, José André Peres. Em busca de um perfil epistemológico para a prática educacional em educação em ciências. **Ciência e Educação** (UNESP), Baurú - São Paulo, v. 11, n.2, p. 165-180, 2005.

Niaz, M. A. (1998). Lakatosian Conceptual Change Teaching Strategy Based on Student Ability to Build Models with Varying Degrees of Conceptual Understanding of Chemical Equilibrium. **Science & Education**, 2(7), 107-127. <https://doi.org/10.1023/A:1008671632536>

Niaz, M. A (2001). Rational reconstruction of the origin of the covalent bond and its implications for general chemistry textbooks. **International Journal of Science Education**, 23(6), 623-641. <https://doi.org/10.1080/09500690010006491>

Pazinato, M. S., Bernardi, F. M., Miranda, A. C. G., & Braibante, M. E. F. (2021). Epistemological Profile of Chemical Bonding: Evaluation of Knowledge Construction in High School. **Journal of Chemical Education** (171-246). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00353>

Pozo, J. I., & Crespo, M. Á. G. (2009). **Aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**, Porto Alegre, RS: Artmed.

Santos, M. de C., Almeida, L. R., & Filho, P. F. S. (2020). O Ensino Contextualizado de Interações Intermoleculares a partir da Temática dos Adoçantes. **Ciência & Educação** (Bauru), 26, e20028. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200028>

Torres, N.M., Landau, L., Monteserin, H., & Baumgartney, E. (2010). Fuerzas intermoleculares y su relación com propiedades físicas: búsqueda de obstáculos que dificultan su aprendizaje significativo. **Educación Química**, 21(3), 212-218. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30085-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30085-5)

Zabala, A. A (1998). **Prática Educativa: Como educar** (5ª ed.). Porto Alegre, RS: Artmed. Recuperado de <https://www.ifmg.edu.br/ribeiraodasneves/noticias/vem-ai-o-iii-ifmg-debate/zabala-a-pratica-educativa.pdf>