

Modelos explicativos de estudantes do ensino médio sobre a ligação hidrogênio: avaliação sob a perspectiva lakatosiana

Ana Carolina Gomes Miranda¹, Maurícius Selvero Pazinato²

¹Doutora em Educação em Ciências pela Universidade Federal de Santa Maria, RS
Professora da Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP, Brasil

²Doutor em Educação em Ciências pela Universidade Federal de Santa Maria, RS
Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil

Explanatory models of high school students about the hybrid connection: evaluation under the Lakatosian perspective.



Informações do Artigo

Palavras-chave:

Forças intermoleculares; transição progressiva; modelos explicativos.

Key words:

Intermolecular forces; progressive transition; models.

E-mail: ana.miranda@ufop.edu.br

A B S T R A C T

The present study focuses on the teaching and learning process of concepts related to hydrogen bonding (LI). This content developed through a didactic sequence (SD). Based on Lakatos' perspective, we tried to find out whether the students' explanatory models form sequences of progressive transition, similar to what Lakatos, in the History of Science, refers to as "problematics" that increase the heuristic power of the model. The monitoring of students' ideas throughout the study of the content revealed that there was a significant rate of students who managed to progress conceptually. It is possible to infer that the activities developed in the DS contributed significantly to the progressive transition of the explanatory models of most participants.

INTRODUÇÃO

Os conceitos referentes ao conteúdo de interações intermoleculares e suas interfaces constituem um campo conceitual vasto que apresenta distintos significados em contextos específicos das subáreas da química. Desta forma, procurou-se fundamentos teóricos que pudessem auxiliar na interpretação da evolução conceitual neste tópico, por parte de estudantes do nível médio. Dentro desta perspectiva, a relação entre a epistemologia da ciência e a evolução do conhecimento no contexto escolar tem sido altamente reconhecida por filósofos da ciência, psicólogos, pesquisadores e educadores (CAREY, 1985; DUSCHL; GITOMER, 1994; KITCHENER, 1988; NIAZ, 1998; LABURÚ; NIAZ, 2002; GIL- PÉREZ, 1993). Acredita-se que a teoria de Lakatos, em relação ao progresso da ciência, possa fornecer uma ferramenta capaz de investigar a mudança conceitual por parte dos sujeitos investigados.

Niaz (1998) afirma que a epistemologia da Ciência baseada nos pressupostos de Imre Lakatos possui implicações didático-pedagógicas que podem trazer importantes contribuições ao processo de ensino e aprendizagem. Para Lakatos, o progresso da ciência retrata o que ele define como uma metodologia dos Programas de Investigação Científica (PIC). Um PIC é constituído por várias teorias que progressivamente evoluem, sendo que o processo de desenvolvimento da ciência se caracteriza

pela competição entre Programas de Investigação rivais. As PIC se caracterizam por regras metodológicas: “algumas nos dizem quais são os caminhos de pesquisa que devem ser evitados (heurística negativa), outras nos dizem quais são os caminhos que devem ser palmilhados (heurística positiva)” (LAKATOS, 1971, p. 162).

Um determinado programa é dito como “progressivo” quando prevê fatos novos, ou seja, quando aumenta o poder explanatório/heurístico de alguma teoria. Em contraposição, ele é considerado “regressivo” quando não prevê fatos novos, ou, os prevendo, não são corroborados (SILVA, 2008).

De forma análoga, essa perspectiva no ensino de Química pode ser utilizada para investigar se os modelos explicativos de estudantes do ensino médio formam sequências de transição progressiva (NIAZ, 2001), similares ao que Lakatos, no que se refere ao progresso da ciência, faz referência à “problemática” que aumenta o poder explanatório/heurístico de um determinado modelo ou teoria.

A partir do exposto, é possível observar a importância de modelos para o ensino das Ciências. Modelo é um conjunto de ideias, fruto da imaginação e que tenta explicar um fenômeno que é observado. É uma articulação de conceitos, opiniões e ideias sobre algo, na tentativa de entender e interpretar tal acontecimento (REIS, 2008). Desta maneira, tudo indica que, em muitos casos, a utilização de modelos é essencial para o entendimento do sistema em estudo.

Diante da importância dos temas supracitados para o entendimento do mundo e do cotidiano de uma maneira mais clara e objetiva, algumas pesquisas (MIRANDA et al., 2022; SANTOS et al., 2020; COOPER et al., 2015) alertam para a forma de como conteúdos básicos da Química, estão sendo desenvolvidos na educação de nível médio. É possível destacar que a principal crítica está relacionada ao ensino de forma desvinculada de contextos sem estabelecer conexão com o cotidiano. Além disso, pesquisas ressaltam, por exemplo Autor 2 (2016) que a abordagem destes tópicos é desenvolvida de forma aproblemática e sem a utilização de modelos apropriados que permitam a compreensão desses tópicos a luz dos níveis de representação da matéria.

Dentro desta perspectiva, nesta pesquisa, optou-se pelo conteúdo de forças intermoleculares, mais especificamente ligação hidrogênio como foco de investigação. A escolha desse tema está vinculada à sua importância em diversos fenômenos do cotidiano, proporcionando aos estudantes transitarem entre os níveis de representação da matéria (macroscópico, submicroscópico e simbólico), bem como que eles evoluam em seus modelos explicativos sobre o conteúdo em questão. Dentro deste contexto, a questão que guiou a presente pesquisa foi: “Como estudantes do nível médio desenvolvem sequências de transição progressiva de seus modelos explicativos sobre ligação hidrogênio?”

A partir destas considerações, o principal objetivo desta pesquisa é investigar a evolução conceitual, ou seja, como os modelos explicativos de estudantes de nível médio sobre ligação hidrogênio formam sequências de transição progressiva, a partir do desenvolvimento de uma sequência didática.

APORTE TEÓRICO



A epistemologia de Imre Lakatos (1922-1974) se evidenciou como uma das mais importantes reflexões da cultura científica do século XX. A ideia sobre o desenvolvimento da ciência proposta por Lakatos baseia-se nas reflexões que guiam os caminhos da racionalidade científica. A reconstrução dos pressupostos sobre a ciência, proposta por Lakatos foi inovadora, tornando-se um crítico experiente e uma referência sobre as discussões científicas no século XX e XXI. Além disso, Lakatos em seus trabalhos evidenciava as inconsistências sobre os alicerces da ciência moderna, uma vez que, ao longo dos séculos XVII e XVIII, a ciência se desenvolvia sustentada no empirismo e indutivismo. Lakatos define essas teorias como sendo a identificação dos conhecimentos por meio do conhecimento provado somente através de observações (LAKATOS; MUSGRAVE, 1970).

A “Metodologia dos Programas de Investigação Científica”, de Imre Lakatos, consiste basicamente de um núcleo duro, cinturão protetor e heurísticas, as quais fornecem orientação para a pesquisa futura de uma forma tanto positiva quanto negativa. A heurística negativa são regras que guiam as direções que a pesquisa precisa evitar. Desta forma, é uma metodologia que não permite o ataque direto ao núcleo do programa de investigação. Já a heurística positiva são as regras que a pesquisa precisa seguir, é composta por uma pauta geral que indica como pode ser desenvolvido o programa de investigação científica. Lakatos (1971) afirma que a heurística positiva apresenta um programa imerso em uma cadeia de modelos explicativos, ou seja, um conjunto de condições iniciais, as quais poderão ser substituídas à medida que se eleva a complexidade dos fenômenos estudados. Este desenvolvimento de modelos leva a uma progressão de teorias cada vez mais aperfeiçoadas (MION; ANGOTTI, 2005).

O núcleo duro de um programa é a hipótese teórica geral que constitui a base da qual o programa deve se desenvolver, reunindo os pressupostos básicos, essenciais e fundamentais para a sua existência. O abandono desse núcleo duro é o que causa a mudança de programa. Por exemplo, o núcleo duro da astronomia Copernicana seriam as suposições que a terra e o planeta orbitam um sol estacionário e que a terra gira em seu eixo uma vez por dia. Ou o núcleo duro na física Newtoniana é composto das leis do movimento de Newton e a sua lei da atração gravitacional.

O Cinturão protetor são as hipóteses auxiliares que protegem o núcleo duro. Segundo Lakatos (1998), é esse cinto de proteção de hipóteses auxiliares que tem que suportar o impacto dos testes e ir se ajustando e reajustando, ou mesmo ser completamente substituído, para defender o núcleo assim fortalecido.

A competição entre diferentes programas é responsável em desenvolver ou evoluir o quadro teórico da explicação científica. O Programa progressivo é aceito pela comunidade científica, enquanto o programa degenerativo, segundo Lakatos (1998), cairá em desuso, devido à incapacidade demonstrada em explicar novos fatos, em erguer uma teoria coerente.

Desta forma, a avaliação é desenvolvida por meio da comparação ou competição entre programas. Segundo Lakatos (1971), se P2 [P= Programa de Investigação Científica] progride é devido ao fato da lentidão do progresso de P1, já que P2 antecipará alguns fatos novos mais rapidamente que P1. O fato é que P1 sem P2 poderia ser progressivo, entretanto, a competição com P2, o coloca em degeneração (LAKATOS, 1971).

Dentro deste contexto, na perspectiva de um PIC, uma teoria será normalmente abandonada por uma teoria que apresente o poder explicativo melhor que sua antecessora. Uma teoria é melhor do que outra se apresentar conteúdo empírico excedente ou se tiver maior poder heurístico

(explanatório). Por exemplo, uma teoria sintática X será melhor que uma teoria sintática Y, ambas pertencendo ao mesmo programa de investigação, se X explicar e correlacionar mais fatos que Y. Desta forma, o verdadeiro teste da progressão de uma teoria está em sua capacidade de prever fatos novos, bem como de aumentar o poder heurístico do modelo.

Diante do exposto, baseando-se nos pressupostos Lakatosianos, serão avaliados os modelos explicativos sobre ligação hidrogênio de estudantes do nível médio, procurando verificar se esses modelos formam sequências de transição progressiva (NIAZ, 1998; MARTORANO, 2012), similares ao que Lakatos refere-se a “problemática” que aumenta o poder explanatório ou heurístico do modelo. A evolução dos modelos, que geralmente consistem em transições progressivas, pode estar relacionada ao entendimento manifestado pelos estudantes sobre os conteúdos específicos de uma determinada teoria em estudo. Para isso, analisou-se concepções/modelo dos estudantes durante o período de aplicação de uma sequência didática. Desta forma, a seguir serão apresentadas algumas implicações didático-pedagógicas da inserção dos pressupostos epistemológicos lakatosianos no processo de ensino e aprendizagem.

Contudo, é necessário ressaltar o processo de ensino assim estruturado a partir de detalhes específicos da epistemologia de Lakatos limita-se a uma analogia que precisa ser mais bem discutida. É impossível afirmar uma transferência automática da epistemologia dos programas de pesquisa das ciências empíricas para a dinâmica do pensamento dos alunos em ambiente escolares, pois este é um ambiente totalmente diferente do científico.

METODOLOGIA

Ressalta-se que esta pesquisa é um recorte de um trabalho maior desenvolvido no período de doutoramento da autora principal e teve como sujeitos 29 estudantes da 1ª série do ensino médio de um Instituto Federal do estado do Rio Grande do Sul. Os dados foram coletados por meio de questionários aplicados antes, durante e após o desenvolvimento de uma sequência didática (SD) sobre o conteúdo de ligação hidrogênio.

A SD foi organizada com base nos pressupostos teóricos recomendados por Zabala (1998) e na adaptação dos critérios estruturantes propostos por Dolz et al. (2004) e Guimarães e Giordan (2011).

Em relação aos conceitos relacionados ao conteúdo de forças intermoleculares, optou-se por desenvolver os tópicos essenciais para a compreensão da natureza dessas interações, bem como sua influência nas propriedades físicas dos materiais. A SD foi elaborada em três unidades didáticas (UD): - UD Natureza das forças intermoleculares: foi desenvolvida em 6h/aulas com o intuito de promover a compreensão da natureza eletrostática das interações intermoleculares;

- UD Força de London e dipolo-dipolo: esta unidade didática teve duração de três aulas, totalizando seis horas/aula, cujo principal objetivo foi compreender a natureza eletrostática da interação dipolo-dipolo, em virtude da distribuição de cargas elétricas e formação de dipolos elétricos. - UD Ligação hidrogênio: foi desenvolvida em 6h/aulas com o objetivo de compreender em nível atômico-molecular a natureza eletrostática da ligação hidrogênio.

Ao total foram necessárias seis semanas de aplicação, totalizando um mês e meio de efetivo desenvolvimento de todas as atividades. Entretanto, o enfoque deste trabalho será na descrição e



análise da unidade Ligação hidrogênio, que versa sobre aspectos fundamentais para a compreensão da Natureza em nível atômico-molecular da ligação hidrogênio (Quadro 1).

Quadro 1 - Descrição da unidade didática 3, ligação hidrogênio

Unidade didática 3 – Ligação Hidrogênio		
<p>Problema inicial: As interações intermoleculares estão intimamente relacionadas com os fenômenos presentes no nosso dia a dia, como exemplo, é possível citar: a sensação do sabor, acidez dos compostos, chuva ácida, capilaridade, DNA, mutação genética, ação de anticoagulantes no corpo humano, encontro da águas do rio Solimões, tensão superficial, processo de colagem, silicose, impossibilidade de substituir detergentes por água na remoção de graxas e gorduras, bioluminescência, densidade, transformações físicas, entre outros. Desta forma, todos estes fenômenos são muito comuns em nosso cotidiano, e nem percebemos a razão de sua ocorrência. Inicialmente, nos referimos a eventos completamente diferentes, no entanto, os fenômenos pelos quais as mesmas passam, possuem algo e comum. Mas o que tudo isso que foi exposto têm em comum? Como você poderia explicar esses fenômenos?</p>		
Objetivos gerais	Objetivos específicos	Atividades desenvolvidas
<ul style="list-style-type: none"> - Construir o conhecimento referente à ligação hidrogênio; - Compreender a natureza eletrostática da ligação hidrogênio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Interpretar os fenômenos macroscópicos relacionados à ligação hidrogênio, por meio de explicações submicroscópicas. - entender o comportamento de sistemas químicos a nível molecular. - comparar e prever o comportamento das substâncias (Pontos de fusão e ebulição), por meio da compreensão da magnitude das forças intermoleculares; - Analisar e propor soluções para os problemas à luz dos conceitos científicos abordados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação das concepções prévias dos estudantes, por meio da aplicação de questionários e situações problema; - Resolução de problemas; - Atividades de pesquisa; - Atividades de modelagem; - Discussão e debate sobre o problema inicial e as atividades desenvolvidas; - Aplicação de um questionário diagnóstico final.



Fonte: Autoria própria (2023).

Ressalta-se que SD foi pensada em promover a transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes participantes. Desta forma, as atividades foram separadas em fases da pesquisa:

- Fase inicial – aplicação do questionário diagnóstico inicial;
- Fase intermediária – Desenvolvimento das atividades propostas na SD;
- Fase final – Aplicação de um questionário diagnóstico final.

Na primeira aula, inicialmente foi aplicado um questionário diagnóstico inicial (fase inicial), o qual indagou os estudantes sobre a natureza da ligação hidrogênio, magnitude dessa interação comparada a outros tipos de forças intermoleculares, identificação das ligações hidrogênio, solubilidade, pontos de fusão e ebulição e ocorrência dessas interações em fenômenos do dia a dia, bem como suas representações submicroscópicas.

Posteriormente, foi apresentado o problema inicial (Quadro 1) para os estudantes. Neste momento, a turma foi dividida em grupos e foi solicitado que propusessem hipóteses para os problemas em questão. Em seguida, após discussões e proposições, cada grupo escolheu um fenômeno (presente no problema inicial) para aprofundamento. Para isso, foram fornecidos textos científicos, livros didáticos e o laboratório de informática. Além disso, com o intuito de orientar a investigação, foi fornecido um guia com alguns questionamentos, tais como: Qual o fenômeno investigado? Quais conceitos químicos, que você consegue identificar, estão relacionados ao fenômeno estudado? Quais conceitos químicos, que você consegue identificar, estão relacionados ao fenômeno estudado? Em nível atômico molecular, como você descreveria o fenômeno investigado? Proponha um modelo que explique esse fenômeno.

Os estudantes tiveram uma semana para preparar as proposições e explicações para os fenômenos em estudo. Na aula seguinte, cada grupo apresentou suas conclusões, das quais foram analisadas e discutidas em coletivo. Pretendeu-se com essa atividade, que os estudantes compreendessem o comportamento da ligação hidrogênio a nível atômico-molecular, partindo-se, primeiramente, de observações no nível macroscópico (fenômenos do dia a dia) para chegar ao nível submicroscópico, que exige uma maior abstração. Isso implica afirmar que será necessário explicar a natureza dessa interação baseados nos conceitos de átomos, moléculas, íon e outras partículas subatômicas para racionalizar e prever o comportamento dos fenômenos. Segundo Johnstone (1982), uma das dificuldades da aprendizagem em química está relacionada ao fato de que, o processo de ensino e aprendizagem, ocorre majoritariamente apenas em níveis macroscópico e simbólico, desvalorizando aspectos mais estruturais, correspondente ao nível submicroscópico. O referido autor enfatiza que para a completa aprendizagem dos conceitos químicos, é necessário que o professor forneça subsídios que contribuam para que os estudantes consigam transitar entre os três níveis de representação da matéria (macro, submicro e simbólico).

Uma vez desenvolvidos os tópicos relacionados à natureza da ligação hidrogênio, ou seja, - que a formação dessa ligação é resultado da interação eletrostática (força de Coulomb) entre o par não ligante de átomo eletronegativo e o núcleo do átomo de hidrogênio, parcialmente desprotegido, em virtude da ligação covalente polar com o outro átomo também muito eletronegativo: $\delta^- X - H \delta^+ \dots Y \delta^-$, em seguida, serão desenvolvidas atividades, cujo objetivo se concentram em analisar a influência da ligação de hidrogênio nas propriedades físicas das substâncias, como os pontos de fusão e ebulição.

A próxima aula começou com a atividade de modelagem “investigando o comportamento anômalo da água”, em que o objetivo foi contribuir para que os estudantes compreendessem a magnitude da ligação de hidrogênio comparada com outros tipos de interações, por meio da análise de gráficos da temperatura de ebulição de substâncias formadas por hidrogênio e elementos do grupo do carbono e por hidrogênio e elementos do grupo do oxigênio. Para isso, foi disponibilizado um roteiro investigativo, bem como massa de modelar, palitos, folhas A4, lápis de cor e giz de cera para que os estudantes possam elaborar e representar os modelos. Após a construção dos modelos, foi solicitado aos grupos que explicassem para a turma o modelo elaborado. Desta forma, pretendeu-se retomar os conceitos referentes às diferenças entre as ligações intramoleculares e intermoleculares, variação da temperatura de ebulição em função da variação da massa molar, tipos de interação e magnitude das forças intermoleculares.

Em seguida, com o intuito de validar os modelos construídos pelos estudantes, foram fornecidos outros dados empíricos, como o tamanho do átomo, elétrons da camada de valência e as temperaturas de ebulição de compostos de hidrogênio com elementos dos grupos 15 (do nitrogênio) e 17 (dos halogênios) da tabela periódica. Os estudantes tiveram a tarefa de explicar se o modelo da ligação hidrogênio, elaborado previamente, o qual explica o comportamento da água em relação à temperatura de ebulição, também seria útil para explicar as temperaturas de ebulição do HF e do NH₃. Além disso, representaram por meio de representações pictográficas como as moléculas de HF e de NH₃ se manteriam unidas segundo esse modelo.



É importante ressaltar que todas as representações apresentadas pelos estudantes foram discutidas em conjunto, com o objetivo de modificar ou sanar ideias alternativas, que porventura, tenham sido construídas pelos estudantes. Após a apresentação ou reformulação dos modelos, com intuito de fornecer subsídios para que os estudantes avancem na construção de seus conhecimentos, foi desenvolvida uma atividade de síntese dos conceitos abordados, cujo objetivo foi ampliar e aplicar os conhecimentos construídos. Desta forma, cada grupo de trabalho recebeu uma molécula descrita no Quadro 2 e discutiram sobre as interações existentes entre elas, com base nos conceitos estudados. Foi solicitado que cada grupo representasse, a sua respectiva estrutura e, ao final, foi elaborado em conjunto um painel com as representações de todos os grupos.

Quadro 2 - Lista de moléculas para análise

Substância	Representação pictográfica	Massa molar	TE °C	Interação
Água				
Amônia				
Metanol				
I ₂				
HCl				
Propano				
Etanol				

Fonte: **Autoria própria (2023)**.



Na última aula, sistematizou-se todos os conceitos abordados durante a unidade didática 3. Para finalizar as atividades dessa unidade, foi aplicado um questionário diagnóstico final (fase final) que abordou os seguintes aspectos: conceitos relacionados natureza da ligação hidrogênio, influência da ligação hidrogênio nas propriedades físicas das substâncias, identificação da ligação hidrogênio em fenômenos do dia a dia e representação submicroscópica dessas interações.

Metodologia de Análise dos dados

A análise dos dados ocorreu antes, durante e após a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares em sala de aula (fase inicial, final e intermediária). Inicialmente as respostas foram lidas, transcritas em planilhas e agrupadas em categorias. A análise dos dados para avaliar a evolução conceitual dos sujeitos investigados foi dividida em quatro etapas, conforme representado na Figura 1.

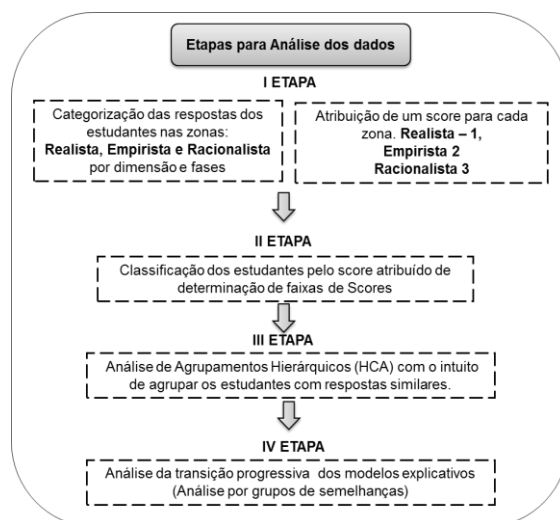


Figura 1 - Etapas para análise dos dados.

Na I etapa, as respostas dos estudantes foram lidas, transcritas em planilhas do Microsoft Office Excel® e agrupadas nas categorias sugeridas por Pazinato (2016) nas três fases da pesquisa, conforme descrito no Quadro 3. Desta forma, foi atribuído, por exemplo, o *score* 1 para estudantes que apresentassem em suas ideias concepções realistas sobre o assunto abordado, *score* 2 para ideias empiristas e *score* 3 para concepções racionalistas.

Quadro 3 - Descrição das Zonas Filosóficas

Zona filosófica	Descrição	Score	Exemplo: modelos dos estudantes
Realista	Apresentam noções não científicas. Representam ideias associadas ao senso comum, caracterizadas por formas ingênuas, subjetivas e intuitivas de enunciar determinado conceito.	1	<i>“Tudo que tem hidrogênio”</i>
Empirista	Começam a empregar termos científicos derivados diretamente da observação, experimentação ou de dados experimentais. Apresentam ideias com um grau de abstração maior que a zona anterior e geralmente não estabelecem muitas relações entre os conceitos.	2	<i>É a ligação em que o hidrogênio se liga com nitrogênio, flúor e oxigênio</i>
Racionalista	Apresentam formas científicas de pensar os conceitos em questão. As ideias são complexas e inter-relacionadas, na maioria das vezes com um grande poder de abstração. Há nesta zona, um nível mais elevado de reflexão sobre os conceitos científicos pesquisados.	3	<i>É a interação mais forte que existe, pois, o átomo de hidrogênio de uma determinada molécula ao interagir com átomos muito eletronegativos (FON) de outras moléculas, formam cargas parciais positivas e negativas de alta</i>

Fonte: **Autoria própria (2023).**

Na segunda etapa, calculou-se a média das respostas de cada estudante por fase da pesquisa (inicial, intermediária e final), o que representa a zona predominante das ideias dos estudantes. Para isso, foram determinadas faixas de *Scores* para cada zona filosófica, com o intuito de se obter uma visão geral da origem do conhecimento do estudante, conforme a Figura 3. Isso se justifica pela pluralidade de pensamento, pois, muitas vezes, para um determinado conceito foram apresentadas respostas de diferentes zonas filosóficas ao longo da pesquisa. Ressalta-se que em cada uma das fases (inicial, intermediária e final) foram coletados dados que serviram de suporte para analisar a transição progressiva. Por exemplo, na fase inicial foram utilizadas sete questões (Q1 a Q7). Desta forma, a classificação para as ideias do estudante E5 foi: Q1 realistas (1), Q2 realistas (1), Q3 realistas (1), Q4 empiristas (2), Q5 empiristas (2), Q6 realistas (1) e Q7 empiristas (2). Assim sendo, calculou-se a média das respostas $(1+1+1+2+2+1+2 / 7 = 1,4)$ e este estudante apresentou uma noção predominantemente realista sobre a ligação hidrogênio. As faixas de scores foram determinadas para se obter uma visão geral sobre as ideias apresentadas pelos estudantes, conforme justificado acima. Esse mesmo procedimento se repetiu para os demais estudantes em todas as fases da pesquisa.



Figura 2 - Faixa de Scores. Fonte: **Autoria própria (2023).**

Na etapa III foi utilizado o método estatístico de Análise de Agrupamentos Hierárquicos (do inglês, Hierarchica Cluster Analysis – HCA), o qual permite otimizar os dados através de agrupamentos de estudantes com respostas similares (HAIR, 2005). A HCA é uma técnica analítica com o intuito de formar e desenvolver subgrupos significativos de indivíduos. Em específico, o objetivo da técnica é classificar os sujeitos em um pequeno número de grupos mutuamente excludentes, com base nas similaridades entre eles. A HCA foi utilizada com o auxílio do software Pirouette®. Para isso, foram construídas planilhas com os valores das médias obtidos nas três fases da pesquisa.

Justifica-se a utilização da técnica HCA para que a análise das sequências de transição progressiva não se torne exaustiva e repetitiva, uma vez que a HCA permite o agrupamento hierárquico de estudantes com respostas similares.

Para cada grupo formado a partir da técnica supracitada, foi escolhido aleatoriamente um sujeito que represente as ideias da totalidade do grupo para demonstrar a análise da transição progressiva, ou seja, avaliar a evolução conceitual durante a abordagem do conteúdo de forças intermoleculares, contemplado a etapa IV.

Além disso, os níveis de representação da matéria também foram considerados para a avaliação das sequências de transição progressiva. Nesta análise, foram adaptadas as categorias propostas por Martorano (2012), conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Descrição das categorias

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: Autoria própria (2023).

Para analisar as sequências de transição progressiva foram considerados dois aspectos na análise dos modelos explicativos apresentados pelos estudantes. O primeiro aspecto está relacionado com a compreensão dos conceitos teóricos referentes ao conteúdo em questão baseados nas zonas filosóficas. O segundo refere-se à capacidade de transitar entre os níveis de representação da matéria, ou seja, pretende-se avaliar se os estudantes conseguem entender os fenômenos em estudo, por meio da descrição da situação empírica (macroscópico), explicação em nível atômico-molecular (Submicroscópico), bem como a representação química dos fenômenos (simbólico).

DISCUSSÃO

Ressalta-se que os resultados apresentados a seguir fazem parte de um recorte de uma pesquisa de doutorado. Desta forma, foram aplicadas três sequências didáticas (natureza das interações intermoleculares, dipolo-dipolo e ligação hidrogênio). No presente artigo será



apresentado somente os resultados referentes a terceira sequência: ligação hidrogênio. Além disso, a pesquisa foi desenvolvida em três fases: inicial, intermediária e final.

Processo de categorização inicial – Etapas I e II

- Fase inicial

Foram analisadas 145 respostas e a categorização inicial, bem como enxertos das respostas que representam as categorias na fase inicial, encontra-se representada no Quadro 5.

Quadro 5 - Categorização das respostas para a dimensão Ligação hidrogênio na fase inicial da pesquisa

Categoria	Enxertos das respostas	Nº	%
Realista	- <i>Tudo que tem hidrogênio. E5</i>	01	3,4
Empirista	- <i>É a ligação em que o hidrogênio se liga com nitrogênio, flúor e oxigênio. E12</i> - <i>Interação entre os dipolos, onde o hidrogênio é positivo e se liga a F, O, N. E9</i>	25	86,2
Racionalista	- <i>É uma interação eletrostática forte entre o hidrogênio e átomos muito eletronegativos, como flúor, oxigênio e nitrogênio. Assim, tem interações muito intensas por ter um átomo (hidrogênio) com baixa densidade eletrônica interagindo com átomos com alta densidade eletrônica. E10</i>	03	10,4

Fonte: Autoria própria (2023).

Já nessa fase da pesquisa, é perceptível que, gradualmente os estudantes estão conseguindo aumentar o poder explicativo de seus modelos. Mesmo sem mencionar os conceitos referentes à ligação hidrogênio nas atividades desenvolvidas, três (10,4%) estudantes já apresentam ideias científicas e inter-relacionadas sobre o conteúdo em questão.

Essa evolução também é observada, mesmo que em menor grau, no percentual de estudantes (86,2%) com concepções empiristas, ou seja, inicialmente já utilizam termos científicos para expressar suas ideias, ainda que essas ideias sejam derivadas da observação e aplicação de regras. Desta forma, observa-se que as atividades desenvolvidas estão contribuindo com a sequência de transição progressiva dos modelos explicativos dos sujeitos investigados.

- Fase intermediária

Para essa fase, foram analisadas 203 respostas dos sujeitos investigados. O Quadro 6 apresenta a categorização.

Quadro 6 - Categorização das respostas para a dimensão Ligação hidrogênio na fase intermediária da pesquisa

Categoria	Enxertos das respostas	Nº	%
Realista	-		
Empirista	- <i>Interação do Hidrogênio de uma molécula com FON de outra molécula. E22</i> - <i>Interações fortes que ocorrem entre o hidrogênio e FON. E5</i>	09	31



Racionalista	<p>- É uma interação muito forte, para rompe-la é necessário bastante energia. As ligações de hidrogênio ocorrem entre os dipolos permanentes das moléculas. É uma interação de alta polaridade, onde estão presentes ligações covalentes entre o hidrogênio e o oxigênio (O-H), o nitrogênio (N-H) e o flúor (F-H). E12</p> <p>- É a interação mais forte que existe, pois, o átomo de hidrogênio de uma determinada molécula ao interagir com átomos muito eletronegativos (FON) de outras moléculas, formam cargas parciais positivas e negativas de alta polarizabilidade, resultando em altos pontos de fusão e ebulição. E9</p>	20	69
--------------	---	----	----

Fonte: Autoria própria (2023).

As atividades desenvolvidas, tais como: resolução de problemas, pesquisa, modelagem e atividades experimentais investigativas, dentro de uma perspectiva construtivista, foram essenciais para que os estudantes, gradativamente, conseguissem evoluir conceitualmente. Diante disso, observa-se que 69% dos sujeitos, nesta fase da pesquisa, conseguiram expressar seus modelos de forma científica, inter-relacionada e com uma grande capacidade de abstração, ou seja, no decorrer da pesquisa, foram aumentando o poder heurístico de seus modelos, favorecendo a formação de sequências de transição progressiva.

Ressalta-se que o ensino de ciências, segundo os documentos oficiais da educação brasileira (BRASIL, 2006) tem como foco utilizar as ideias prévias que os estudantes possuem para explicar um determinado fenômeno e confrontá-las com explicações científicas, com vistas a construção e ressignificação de conhecimentos. Esse processo é contínuo e, muitas vezes, lento. Diante disso, transpondo as ideias lakatosianas para o processo educativo, entende-se que a evolução conceitual não é uma substituição das concepções prévias dos estudantes por ideias científicas, mas um enriquecimento do espectro de ideias que ele dispõe para a compreensão de um determinado fenômeno.

- Fase Final

Para essa fase foram analisadas 87 respostas dos estudantes, das quais encontram-se categorizadas no Quadro 7.

Quadro 7- Categorização das respostas para a dimensão Ligação hidrogênio na fase final da pesquisa

Categoria	Exertos das respostas	Nº	%
Realista	-	-	-
Empirista	<p>- É uma interação que ocorre quando o hidrogênio interage com flúor, oxigênio e nitrogênio. E6</p> <p>- Ligação forte entre o hidrogênio e FON. E20</p>	05	17
Racionalista	<p>- A ligação hidrogênio é característica de moléculas polares, onde estão presentes ligações covalentes entre o hidrogênio e o oxigênio (O-H), o nitrogênio (N-H) e o flúor (F-H), formando um tipo de interação dipolo-dipolo, só que muito mais intensa que a dipolo-dipolo comum. E12</p> <p>- São interações extremamente fortes, pois a diferença de eletronegatividade entre os átomos envolvidos favorece a formação de cargas parciais, gerando alta polarizabilidade e um forte momento dipolo elétrico entre as moléculas. E16</p>	24	83

Fonte: Autoria própria (2023).

Ao final das atividades desenvolvidas, observa-se dois aspectos importantes. O primeiro refere-se a considerável evolução conceitual por partes dos sujeitos investigados. Desta forma, conforme demonstra o Quadro 35, 83% (24) estudantes conseguiram expressar seus modelos de

forma científica, formando ao longo do desenvolvimento da unidade didática 3, sequências de transição progressiva de seus modelos explicativos. Com isso, infere-se que essas atividades contribuíram de forma significativa com o aumento progressivo do poder heurístico de seus modelos.

O segundo aspecto está relacionado com o percentual (17%) de estudantes que ainda permaneceram com visões empiristas nesta fase final da pesquisa. Lakatos nos fornece uma explicação plausível para esse fato. Segundo o autor, a filosofia da ciência fornece métodos normativos para explicar o desenvolvimento do conhecimento científico. O empirismo, por exemplo, é uma das mais influentes metodologias da ciência. O empirismo só permite, como ciência, enunciados que descrevem fatos puros, neutros e generalizações indutivas a partir destes. Desta forma, a ideia que a ciência é conhecimento pronto, acabado e provado, perdurou por muito tempo e ainda influencia o sistema educacional. Mesmo após todas as atividades desenvolvidas, preocupando-se em mostrar que a Química não desvela verdades, mas constrói conhecimentos, ainda 17% insistiram em aplicar regras gerais e desenvolver seus modelos, por meio de observações indutivas.



Análise da etapa III

Após a análise das etapas I e II, utilizou-se o HCA para o agrupamento de estudantes com respostas similares. O dendrograma obtido a partir da HCA está representado na Figura 7. Os ramos do Dendrograma indicam cinco grupos de alunos (I-V) com 70,3% (0,703) de similaridade.

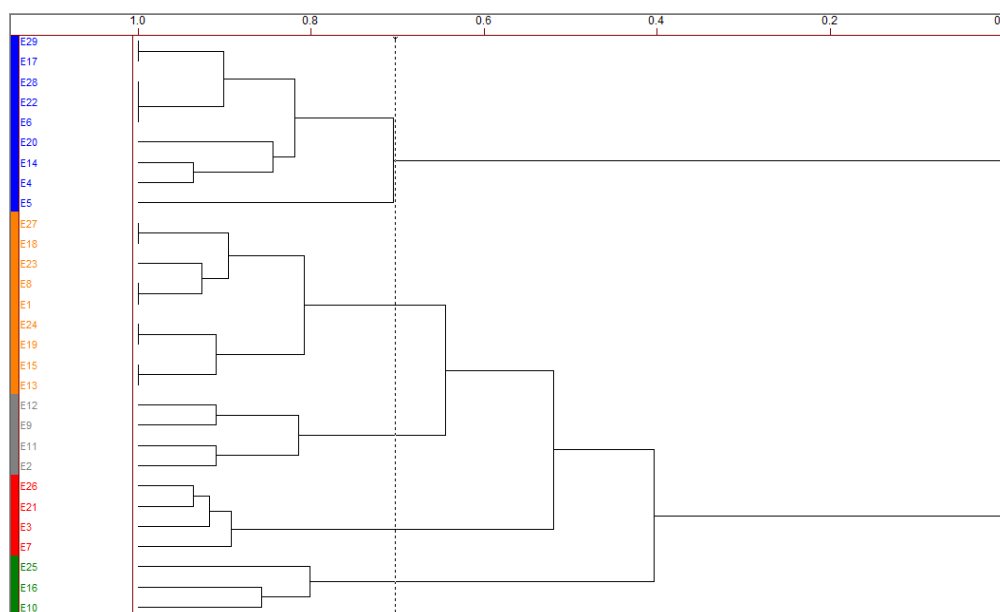


Figura 7- Dendrograma obtido a partir da HCA para a terceira dimensão.

A Tabela 4 apresenta o agrupamento de estudantes com respostas similares, bem como o sujeito escolhido para descrever o desenvolvimento da sequência de transição progressiva dos modelos explicativos.

	Estudantes	Transição progressiva
Grupo I	E29 E17 E28 E22 E6 E20 E14 E4 E5	E29/E5
Grupo II	E27 E18 E23 E8 E1E24 E19 E15 E23	E1
Grupo III	E12 E11 E9 E2	E11
Grupo IV	E26 E21 E3 E7	E3
Grupo V	E25 E16 E10	E25

Tabela 4 - Grupos do HCA e alunos escolhidos para o desenvolvimento da sequência de transição progressiva.

Etapa IV - Transição progressiva dos grupos da HCA

A Figura 8 representa a transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes E29, E5, E1, E11, E3 e E25 (representantes dos grupos especificados na Tabela 4), respectivamente.

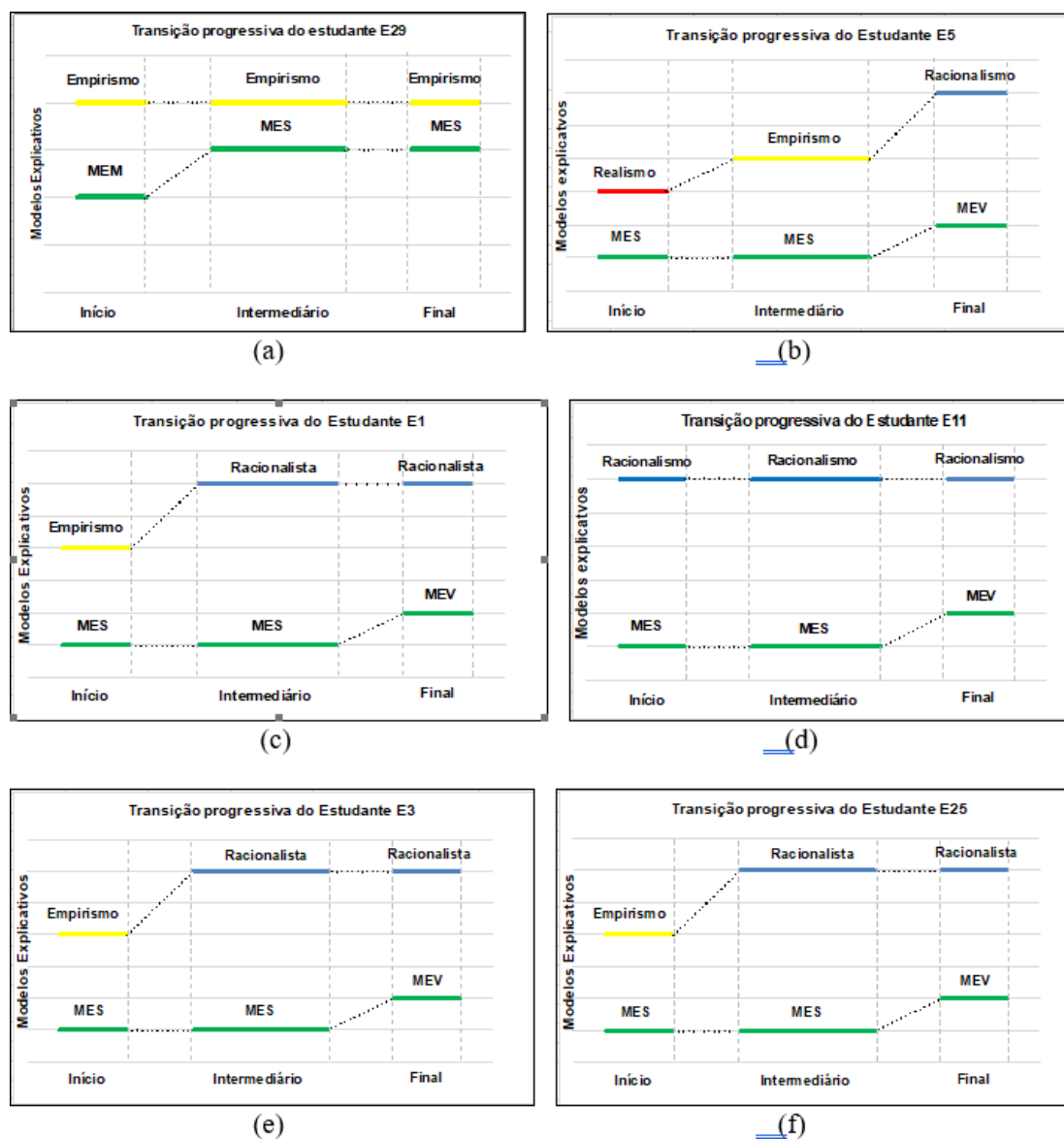


Figura 8 - Transição progressiva do estudante E29, E5, E1, E11, E3 e E25 para as três fases da pesquisa. Fonte: Autoria própria (2023).

Em relação à construção do conhecimento referente aos conceitos de ligação hidrogênio é possível perceber que houve transição progressiva dos modelos explicativos dos estudantes E5, E1, E11, E3 e E25. Desta forma, infere-se que as atividades desenvolvidas contribuíram de forma significativa para a evolução conceitual dos modelos desses estudantes E5, por exemplo, ao início da pesquisa possuía concepções realistas sobre a ligação hidrogênio, já na fase intermediária, evoluiu conceitualmente, mesmo que ainda, com ideias empiristas e na fase final, conseguiu expressar seus modelos, dentro de uma perspectiva racionalista. Isso demonstra a transição progressiva de seu modelo, ou seja, no decorrer das atividades aumentou gradativamente o poder heurístico para explicar determinados fenômenos.

A teoria Lakatosiana diz que os programas de pesquisa são *progressivos* exatamente quando suas teorias posteriores explicam tudo que era explicado pelas suas predecessoras e ainda alguns fatos novos. Analogamente, podemos perceber pelos modelos explicativos dos estudantes acima mencionados que houve evolução progressiva de suas explicações, o que implica, similares aos PIC, em transições progressivas dos modelos explicativos.

Entretanto, ainda se percebe que um grupo de estudantes não conseguiu progredir, permanecendo com ideias empiristas em todas as fases da pesquisa. Desta forma, não houve a formação de sequências de transição progressiva de seus modelos. Em relação a isso, segundo Puster (2003), o empirismo é uma concepção muito presente nas ideias de estudantes, pois há uma crença de que os elementos internos e externos do ser humano funcionam como a fonte de onde provém todo o conhecimento e, por implicação, as ideias que venha a ter. Por exemplo, é da sensação externa que se tem a noção de cores, temperaturas, profundidades, texturas e as demais sensações experimentadas que dependem diretamente da experiência sensorial para chegar ao entendimento do objeto, ou seja, as ideias são os alicerces do conhecimento e a experiência é a única fonte do saber.

Por isso, muitas vezes, é moroso e difícil contribuir para uma efetiva aprendizagem. O estudante não abandona suas ideias por meio da mera exposição das concepções científicas. Na maioria das vezes, a exposição do professor não é internalizada na memória de longo prazo ou são simplesmente armazenadas como proposições destituídas de significado, com a crença empirista mais profundamente arraigada. Mesmo com a maior diversidade de aulas, como foi abordado até o momento, buscando desenvolver habilidades como, resolução de problemas, investigação, raciocínio, ainda se percebe que essas concepções empiristas estão enraizadas na estrutura cognitiva dos estudantes. Desta forma, é necessário ficar atento em todo o processo de aprendizagem, com vistas a evolução conceitual, o que usualmente requer mais do que uma simples adição transitória de conteúdo.

Além disso, Lakatos (1978) afirma que o pensamento científico é desenvolvido por meio de um constante exercício de confrontação de ideias. O autor reforça a ideia de um olhar dinâmico e fundamentalmente dialético envolvendo a competição entre PIC, de forma a destacar como necessidade evolutiva o estímulo de teorias plurais no campo científico. A partir disso, supõem-se, na perspectiva da aprendizagem, que a construção do conhecimento é um processo dinâmico e exige uma variedade de ideias para sua evolução.

Analogamente, pode-se dizer que para ocorrer a aprendizagem é necessário conexões conceituais, tendo como critério a competição entre ideias rivais (cinturão protetor e núcleo), o que



implica que uma delas detenha maior poder heurístico que a outra (PIZZATO, 2010). Nesse sentido, as concepções dos estudantes não são meramente consideradas como hipóteses isoladas, mas sim como um conjunto de teorias, procedentes de construções racionais, podendo tais teorias serem estruturadas por um núcleo firme de concepções sólidas e um cinturão protetor constituído por hipóteses auxiliares que visam proteger o núcleo firme.

Entretanto, segundo Pizzato (2010), quando o estudante simplesmente tende a modificar o seu cinturão protetor de ideias auxiliares para explicar alguma teoria, mantendo irreferível o núcleo firme de suas ideias, pode implicar em uma aprendizagem regressiva.

Além da explicação fornecida por Pizzato (2010), também podemos afirmar que o pensamento empirista ainda é muito influente no contexto educacional. A ideia de que a ciência é conhecimento pronto, analítico, descontextualizado, neutro, acabado e provado, ainda permanece influenciando o sistema educacional, o que implica um enraizamento de visões empiristas, difíceis de serem superadas. Dentro deste contexto, muitos pesquisadores (MCCOMAS, 1998; GIL-PÉREZ et al., 2001; FERNANDES, 2000; MIRANDA et al., 2022), defendem que as concepções epistemológicas dos professores, possuem influência marcante sobre as suas práticas pedagógicas, o que interfere diretamente no processo de aprendizagem dos estudantes da educação básica.

A concepção empirista-identivista foi alvo de severas críticas por parte de filósofos, como Bachelard, Lakatos e Thomas Kuhn, que defendiam a concepção de cunho racionalista/construtivista. O conhecimento nessa perspectiva, é obtido por meio de hipóteses, problemas e teorias que orientam a observação de fenômenos. Desta forma, o modelo de ensino originado a partir de uma concepção racionalista/construtivista, privilegia a aprendizagem procedimental, a aquisição de atitudes e valores, uma vez que o estudante se torna o centro do processo educativo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, nosso objetivo foi compreender o desenvolvimento conceitual de estudantes do ensino médio em relação à ligação hidrogênio, um tópico fundamental no âmbito das forças intermoleculares. Adotamos os pressupostos teóricos fundamentados na epistemologia de Imre Lakatos, visando compreender o entendimento dos alunos sobre este conceito. Além disso, nos propusemos a viabilizar a formação de modelos explicativos que evoluíssem de forma progressiva, enriquecendo assim o poder heurístico desses modelos. Para alcançar esses objetivos e responder o problema de pesquisa proposto, desenvolvemos uma sequência didática (SD) centrada na construção do conhecimento sobre o tema, integrando atividades experimentais de caráter investigativo, resolução de problemas e modelagem.

O estudo revelou que a epistemologia de Lakatos oferece uma estrutura coerente para interpretar as mudanças conceituais em ambientes educacionais. Este quadro teórico se mostrou crucial na análise da evolução dos modelos explicativos dos estudantes. Contudo, ressalta-se a necessidade de cautela ao aplicar os pressupostos lakatosianos na educação, devido à complexidade e dinamicidade da aprendizagem em sala de aula e às diferenças significativas em relação ao ambiente de pesquisa científica.



Neste contexto, compreender que as teorias formuladas pelos estudantes representam mais do que meras hipóteses isoladas é fundamental. Elas fazem parte de um espectro mais abrangente de crenças e ideias. Assim como o conhecimento científico é uma construção humana, provisória e sujeita a reformulações, influenciada por uma variedade de fatores, incluindo intuição, imaginação e razão, as teorias dos alunos também se enquadram neste processo dinâmico. O progresso no aprendizado científico, portanto, envolve uma reestruturação profunda desse conjunto de ideias. A internalização de novo conhecimento constrói-se a partir do conhecimento pré-existente e é frequentemente um processo desafiador e problemático.

A abordagem racionalista/construtivista na educação, defendida por filósofos como Bachelard, Lakatos e Kuhn, enfatiza a aprendizagem baseada em hipóteses, problemas e teorias, colocando o estudante no centro do processo educativo. Esse modelo de ensino prioriza a aprendizagem procedimental e a aquisição de atitudes e valores, promovendo uma educação mais holística. Diante disso, os dados sublinham a complexidade do processo de aprendizagem em ciências e a necessidade de abordagens pedagógicas que promovam uma transformação conceitual profunda, considerando as várias facetas do desenvolvimento do conhecimento científico nos estudantes.

Além disso, esta pesquisa ainda possui inúmeras possibilidades de investigações acerca do tema abordado. Em primeiro lugar é importante destacar que o contexto educacional brasileiro necessita de mais pesquisas que conjecturem a interpretação de fenômenos do dia a dia por meio do entendimento do conteúdo de forças intermoleculares.

Em segundo lugar, estudos longitudinais de longo prazo seriam importantes para mapear o a compreensão sobre o desenvolvimento conceitual ou como os estudantes constroem conhecimentos desde as séries iniciais até níveis mais avançados, fornecendo uma visão mais holística dessa evolução ao longo do tempo. Um aspecto muito importante, e pouco evidenciado na literatura seria explorar a influência de fatores contextuais, como ambiente familiar e socioeconômico, e como esses elementos impactam a construção dos modelos explicativos dos estudantes.

Por fim, é extremamente importante que as questões epistemológicas sejam inseridas nos currículos da formação inicial e nos debates da formação continuada de professores, uma vez que os aspectos epistemológicos são fundamentais para uma formação mais crítica e para superação do modelo empirista ainda influente na educação brasileira.

Referências

- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Qualitative research for Education: an introduction to theory and methods**. Boston: Allyn and Bacon, 1982
- BRASIL, Ministério da Educação. Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ministério da Educação, 2006.
- CAREY, S. **Conceptual change in childhood**, MIT press, Cambridge, MA, 1985.
- COOPER, M. M.; WILLIAMS, L. C.; UNDERWOOD, S. M. Student understanding of intermolecular forces: a multimodal study. **Journal of Chemical Education**, v. 92, n. 8, p. 1288-1298, 2015.
- DOLZ, J.; NOVERRAZ, M.; SCHNEUWLY, B. Sequências didáticas para o oral e a escrita: apresentação de um procedimento. In: Rojo, R.; Cordeiro, G. S. (orgs). *Gêneros orais e escritos na escola*. São Paulo: Mercado de Letras, p. 95-128, 2004.



- DUSCHL, R. A.; GITOMER, D. H. Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. **Journal of Research in Science Teaching**, p. 839-858, 1994.
- GIL- PÉREZ, D. Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de um modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 2, p. 197-212, 1993.
- GUIMARÃES, Y. A. F.; GIORDAN, M. **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, 2011.
- HAIR, J. R. **Análise Multivariada de Dados**. 5° ed. Rio de Janeiro: Bookman, 2005.
- Chem., 407, 1936.
- KITCHENER, R. F. **Review of Piaget and Garcias's book**, Zeitschrift fur allgemeine wissenschaftstheorie, 1988.
- LABURÚ, C. E.; NIAZ, M. 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**, v. 2, p. 211-219, 2002.
- LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. **Uma leitura lakatiana para a análise de situações de controvérsias e conflitos cognitivos** (uma aplicação durante a aprendizagem de cinemática angular). In: XIV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2001.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1992.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo:Atlas, 2001.
- LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. **Criticism and the Growth of Knowledge**. Cambridge: Cambridge University Press, 1970.
- LAKATOS, I. **History of Science and its Rational Reconstruction**. Boston Studies in the Philosophy of Science, p.91-136, 1971.
- LAKATOS, I. **História da Ciência e suas Reconstruções Racionais**. Lisboa: Edições 70, Trad.Emília Picado Tavares Marinho Mendes, p. 21-76, 1998.
- MARTORANO, S. A. A. transição progressiva dos modelos de ensino sobre cinética química a partir do desenvolvimento histórico do tema. (Tese de doutorado), São Paulo, 2012.
- MION, R. A.; ANGOTTI, J. A. P. Em Busca de um Perfil Epistemológico Para a Prática Educacional em Educação em Ciências. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 165-180, 2005.
- MIRANDA, A. C. G.; PAZINATO, M. S.; BRAIBANTE, M. E. F. Tendências do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares a partir da análise de publicações em periódicos nacionais e internacionais. **REEC**, p. 252-281, 2018.
- MIRANDA, A. C. G.; PAZINATO, M. S.; BRAIBANTE, M. E. F. Transição progressiva dos modelos explicativos de estudantes do nível médio sobre a natureza das forças intermoleculares. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 27, n. 2, p. 1-22, 2022.
- NIAZ, M. A. Rational reconstruction of the origin of the covalent bond and its implications for general chemistry textbooks. **International Journal of Science Education**, v. 23, p. 623-641, 2001.
- NIAZ, M. A. Lakatosian Conceptual Change Teaching Strategy Based on Student Ability to Build Models with Varying Degrees of Conceptual Understanding of Chemical Equilibrium. **Science & Education**, n. 7, p. 107-127, 1998.
- PAZINATO, M. S. **Ligações Químicas: Investigação da construção do conhecimento no ensino médio**. 2016. 352 f. Tese (Doutorado em Educação em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **Aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- REIS, A. S. **Ligações Hidrogênio no cotidiano: uma contribuição para o ensino de Química**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2008.
- SANTOS, M. C.; ALMEIDA, L. R.; SANTOS FILHO, P. F. **Ensino Contextualizado de Interações Intermoleculares a partir da Temática dos Adoçantes**. **Ciência & Educação**, Bauru, SP, 2020.
- SILVA, O. H. M. Nardi, R. & Laburú, C. E. Uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos com instrução de racionalidade por uma reconstrução racional didática. **Revista Ensaio**, v. 10, 2008.
- ZABALA, A. A. **Prática Educativa: Como educar**. Porto Alegre, 1998.
- CORRÊA, T. H. B. Diálogo e alteridade: a extensão na transversalidade do ensino superior. **Revista Triângulo**, v. 12, n. 1, p. 119-127, 2019.

CORRÊA, T. H. B.; BARBOSA, N. A. P. Educação ambiental e consciência planetária: uma necessidade formativa. **Rev. Eletrônica Mestr. Educ. Ambient.**, v. 35, n. 2, p. 125-136, 2018.

FAVETTA, L. **Enfocando Necessidades Formativas de Professores de Ciências/Biologia**: um processo de investigação-ação na Prática de Ensino. 2002. 352 f. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2002.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia**: saberes necessários à prática educativa. Rio de Janeiro, Editora Paz e Terra, 4ª edição, 1997.

RESUMO

O presente estudo possui como foco de investigação o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos referentes a ligação hidrogênio (LI). Esse conteúdo desenvolvido por intermédio de uma sequência didática (SD). Baseando-se na perspectiva de Lakatos, procurou-se averiguar se os modelos explicativos dos estudantes formam sequências de transição progressiva, similares ao que Lakatos, na História da Ciência, se refere a "problemática" que aumenta o poder heurístico do modelo. O acompanhamento das ideias dos estudantes ao longo do estudo do conteúdo revelou que houve um índice significativo de estudantes que conseguiu progredir conceitualmente. É possível inferir que as atividades desenvolvidas na SD contribuíram significativamente para a transição progressiva dos modelos explicativos da maioria dos participantes.

Palavras-Chave: Forças intermoleculares; transição progressiva; modelos explicativos.

RESUMEN

El presente estudio tiene como foco de investigación el proceso de enseñanza y aprendizaje de los conceptos relacionados con la unión de hidrógeno (UI). Este contenido se desarrolló a través de una secuencia didáctica (SD). Basándonos en la perspectiva de Lakatos, se buscó investigar si los modelos explicativos de los estudiantes forman secuencias de transición progresiva, similares a lo que Lakatos, en la Historia de la Ciencia, se refiere como "problemática", que aumenta el poder heurístico del modelo. El seguimiento de las ideas de los estudiantes a lo largo del estudio del contenido reveló que hubo un índice significativo de estudiantes que logró avanzar conceptualmente. Es posible inferir que las actividades desarrolladas en la SD contribuyeron de manera significativa a la transición progresiva de los modelos explicativos de la mayoría de los participantes.

Palabras clave: Fuerzas intermoleculares; transición progresiva; modelos explicativos.

