

SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE DILATAÇÃO TÉRMICA: UMA PROPOSTA DE ENSINO SOBRE FÍSICA TÉRMICA

*INQUIRY-BASED TEACHING SEQUENCE ON THERMAL EXPANSION: A
TEACHING PROPOSAL ON THERMAL PHYSICS*

Felipe Aragão Freire¹
Adjane da Costa Tourinho e Silva²
Divanizia do Nascimento Souza³
Elton Daniel Oliveira do Nascimento⁴

Resumo

A importância da criação e manutenção de ambientes que proporcionem uma sociedade cientificamente alfabetizada tem ganhado cada vez mais espaço no campo da pesquisa em Educação em Ciências. O Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) tem se destacado como um potencial promotor da Alfabetização Científica. Trata-se de uma abordagem didática que permite aos alunos a apropriação de formas de construção de conhecimentos por meio do engajamento em práticas características de comunidades científicas disciplinares. Dentre as possibilidades para o desenvolvimento do EnCI, a utilização de Sequências de Ensino Investigativas (SEI) demonstra ser um caminho viável. Nessa perspectiva, este artigo tem por objetivo apresentar uma discussão sobre a estruturação e o desenvolvimento de uma SEI sobre dilatação térmica, analisando as suas relações com as práticas epistêmicas performadas pelos alunos. A pesquisa foi desenvolvida com alunos do 2º ano do nível médio de uma escola pública do Nordeste, durante três encontros virtuais em momentos destinados à disciplina Física, no período da pandemia da Covid-19. A análise considerou categorias de práticas epistêmicas presentes na literatura e outras elaboradas durante a pesquisa. Verificou-se que a estrutura da SEI favoreceu o desenvolvimento de uma variedade de práticas epistêmicas, prevalecendo aquelas inseridas na instância social de comunicação do conhecimento. O artigo também contribui para a reflexão sobre materiais didáticos que se voltam para o favorecimento da Alfabetização Científica a partir de práticas epistêmicas em ambientes virtuais de aprendizagem, fato que ainda se constitui em uma lacuna na produção acadêmica voltada a este conceito.

¹ Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal de Sergipe (UFS).

² Doutora em Educação pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) com período sanduiche na Pennsylvania State University. É professora titular aposentada da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Atua no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

³ Doutora em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo (USP) e Professora Associada da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

⁴ Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Palavras chave: Sequência de Ensino Investigativa; Dilatação Térmica; Práticas Epistêmicas; Sala de Aula Virtual.

Abstract

The importance of creating and maintaining environments that foster a scientifically literate society has gained increasing space in the field of Science Education research. Science Teaching by Inquiry (STI) has stood out as a potential promoter of Scientific Literacy. It is a didactic approach that allows students to appropriate ways of constructing knowledge through involvement in practices characteristic of disciplinary scientific communities, leading them to intervene in their ability to make sense of the world around them and to act critically in it. Among the possibilities for the development of STI, the use of Investigative Teaching Sequences (IST) is shown as a viable path. From this perspective, this work presents a discussion on the structuring and development of an SEI on thermal expansion, analyzing its relationship with the epistemic practices performed by students. The research was carried out with 2nd year high school students from a public school in the Northeast of Brazil, during three virtual meetings in moments destined to Physics classes, during the Covid-19 pandemic. The analysis considered categories of epistemic practices described in the literature and others developed during the research. It was found that the structure of the SEI favored the development of a variety of epistemic practices, with those inserted in the social instance of knowledge communication prevailing. The work also raises the discussion about the development of such practices in virtual environments, which constitutes a gap in academic production focused on this concept.

Keywords: Inquiry-based Teaching Sequence; Thermal Expansion; Epistemic Practices; Virtual Classroom.

Introdução

Apesar da consolidação e dos avanços observados nas últimas décadas na área de pesquisa em ensino de Física, paradoxalmente considera-se que tal ensino está em crise. Para Moreira (2018), entre os possíveis motivos para essa crise estão redução de carga horária, falta de aulas em laboratórios e escassez de professores. O autor ainda argumenta que, entre os poucos professores de Física em atuação docente, boa parte se vê pressionada a ‘treinar’ os alunos para as provas, objetivando respostas corretas e não o verdadeiro ensino. Além disso, a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade são confundidas nas atividades didáticas, o que acaba por deturpar a identidade da Física. Toda essa problemática contribui para que os alunos, em vez de desenvolverem uma predisposição para aprender Física, como seria esperado para uma aprendizagem significativa, desenvolvam uma forte indisposição diante desta disciplina.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2018) instituiu uma série de conhecimentos, competências e habilidades que devem ser desenvolvidos pelos estudantes ao longo da escolaridade básica. Dentre os aspectos definidos para o ensino de ciências, está o enfoque em sua dimensão investigativa. Sobre essa dimensão, a BNCC diz:

[...] aproximando os estudantes dos procedimentos e instrumentos de investigação, tais como: identificar problemas, formular questões, identificar informações ou variáveis relevantes, propor e testar hipóteses, elaborar argumentos e explicações, escolher e utilizar instrumentos de medida, planejar e realizar atividades experimentais e pesquisas de campo, relatar, avaliar e comunicar conclusões e desenvolver ações de intervenção, a partir da análise de dados e informações sobre as temáticas da área (BNCC, 2018, p. 550).

Não apenas a BNCC, mas documentos de políticas educacionais em várias partes do mundo (European Commission, 2015; National Research Council, 2012) indicam essa proximidade com a abordagem investigativa como um ponto essencial na promoção de uma sociedade cientificamente alfabetizada. O conceito de alfabetização científica está relacionado à apropriação de conhecimentos e habilidades suficientes para a tomada de decisão/posição diante de temas sociais que envolvam ciência e tecnologia, mas vai além. Essa alfabetização é um processo contínuo e em constante construção, que ultrapassa os limites da sala de aula (SASSERON, 2015).

Na década de 1980, Miller (1983) já apontava que os diferentes conhecimentos e habilidades requeridos no complexo processo de alfabetização científica poderiam ser agrupados em três pilares fundamentais, o que tem sido reafirmado na literatura nacional e internacional sobre o tema (DUSCHL, 2008; SASSERON, CARVALHO, 2008; HODSON, 2014; NORRIS; PHILLIPS; BURNS, 2014) e exposto atualmente na BNCC: aquisição de conhecimentos conceituais; contextualização, em diversas esferas da ciência e tecnologia; e compreensão dos processos e das práticas que constituem as investigações da ciência (FREIRE, 2021, p. 15).

É importante ressaltar que, nas mais variadas visões de alfabetização científica há um compromisso comum com a necessidade de fomentar entendimentos da ciência no contexto e trazer considerações éticas e morais para a tomada de decisões sociocientíficas (KELLY; LICONA, 2018).

Para Sasseron (2015), o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) é uma abordagem didática que permite o entendimento sobre o que seja a ciência e sobre os conceitos, modelos e teorias que esta esfera social produz. Esse tipo de abordagem permite aos alunos a apropriação de formas de construção de conhecimentos por meio do engajamento em práticas características de comunidades científicas disciplinares, levando-os à ampliação da sua capacidade de dar sentido ao mundo ao seu redor e de atuar nele com criticidade. Sendo assim, o ensino por investigação é um potencial promotor da alfabetização científica.

Apesar da variedade de formatos que as investigações escolares podem adquirir, uma característica basilar que as identifica como tal é a existência de uma questão central em torno da qual as atividades são mobilizadas (SANDOVAL, 2005; PEDASTE et al., 2015). Em função da questão investigativa, dados são produzidos, submetidos a diferentes registros semióticos e analisados de modo a gerar conhecimentos, os quais deverão ser legitimados diante de uma audiência, mediante um processo discursivo. A mediação do professor é fundamental em todo o processo investigativo e envolve uma série de estratégias e intervenções que acabam por posicionar as investigações ao longo de um contínuo que vai de menos a mais estruturadas.

Dentre as possibilidades para o desenvolvimento do EnCI, a utilização de Sequências de Ensino Investigativas (SEI) demonstra ser um caminho viável. Uma SEI pode ser entendida como um conjunto de aulas envolvendo “(...) uma série de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas em prol da resolução de um problema de natureza científica ou sociocientífica, que se expressa por meio de uma ou mais questões” (OLIVEIRA et al., 2020, p. 188). Nessa linha, Sasseron (2015) discute que uma SEI envolve o encadeamento de atividades e/ou aulas nas quais um tema é colocado em investigação e as relações entre esse tema, conceitos, práticas e outras esferas sociais e de conhecimento podem ser exploradas.

Assim, no EnCI os alunos desenvolvem práticas que, por serem voltadas à elaboração e legitimação de conhecimentos em uma perspectiva social, por meio de um processo discursivo, são denominadas de práticas epistêmicas (KELLY; DUSCHL, 2003; KELLY, 2008; KELLY; LICONA, 2018). Kelly e Licona (2018) definem tais práticas como “formas socialmente organizadas e interativamente realizadas pelas quais os membros de um grupo propõem, comunicam, avaliam e legitimam as reivindicações de conhecimento.” (KELLY; LICONA, 2018, p. 2, tradução nossa).

Kelly (2011) acredita que o foco nas práticas epistêmicas oferece algumas maneiras produtivas de examinar a natureza intersubjetiva da alfabetização científica. Para Säljö (2012), esse olhar para a alfabetização científica constrói um entendimento de aprendizagem que implica o domínio de uma série de práticas epistêmicas. Tais práticas requerem saber extrair dos textos de comunidades relevantes, signos e símbolos e empregar conceitos nos processos de elaboração de novos conhecimentos e sentidos (KELLY; LICONA, 2018).

Considerando-se o processo social de construção de conhecimentos, o foco da análise nas pesquisas sobre EnCI são as interações discursivas de uma comunidade epistêmica, como uma sala de aula, e não a estrutura cognitiva de um indivíduo solitário (LEMKE, 2000; MORTIMER; SCOTT, 2003). Assim, o conceito de práticas epistêmicas envolve uma mudança de sujeito epistêmico, o qual passa de um sujeito individual para uma comunidade de prática.

O engajamento em práticas epistêmicas presume a elaboração de significados e sentidos compartilhados entre as pessoas por meio do discurso. As práticas de discurso são centrais nos processos de busca, construção e refinamento de asserções de conhecimento na ciência. Nessa perspectiva, aprender ciências por meio de investigação frequentemente requer envolver os alunos em atividades características da ciência, o que presume a apropriação de suas práticas discursivas e epistêmicas. Uma dessas práticas que pode ser destacada é a argumentação.

Essa perspectiva da argumentação coloca em evidência aspectos epistêmicos que superam o caráter linguístico e oferecem respaldo para que características próprias de uma área de conhecimento possam se fazer presentes. Para nosso caso, nas ciências da natureza, a construção de argumentos deflagra a busca por entendimento, validação e aceitação de proposições e processos de investigação em que justificativas e condições de contorno e de refutação precisam ser explicitadas (SASSERON, 2015, p. 60).

Kelly (2011) defende que a construção de argumentos pode ajudar os alunos a construir o conhecimento conceitual e se apropriarem das práticas epistêmicas e dos processos sociais da ciência. Cavagnetto (2010), depois de revisar uma série de estudos de argumentação que objetivavam promover a alfabetização científica, conclui que a instrução baseada em argumentos pode ser usada para fomentar a alfabetização científica por meio de uma variedade de intervenções. As intervenções curriculares que facilitam o discurso argumentativo entre os alunos devem ser

situadas em contextos nos quais os alunos valorizem outras perspectivas como um meio de refinar e elaborar sua compreensão em ciências (GARCIA-MILLA et al., 2013).

Tendo em vista a importância da elaboração de SEI's para a concretização de um ensino por investigação, o qual favorece a alfabetização científica, este artigo tem por objetivo apresentar uma discussão sobre a estrutura e a aplicação de uma SEI sobre dilatação térmica, analisando as suas relações com o desenvolvimento de práticas epistêmicas pelos alunos. Dentre tais práticas, reservamos um olhar mais detido na argumentação, tendo em vista que tal prática instaura-se a partir de outras que se desenvolvem ao longo de uma investigação (SILVA, 2015)

Estruturada tendo como referência o Ciclo Investigativo proposto por Pedaste et al. (2015), a SEI foi aplicada em três encontros *on-line* a um grupo de alunos da 2ª série do Ensino Médio de uma escola pública da Rede Federal de Ensino de uma cidade do Nordeste, no período da pandemia da Covid-19.

Consideramos que o artigo contribui para a reflexão sobre materiais didáticos que se voltam para o favorecimento da alfabetização científica, pelo viés do conceito de práticas epistêmicas, tendo em vista a discussão apresentada sobre o tema na literatura. Discutimos, nessa perspectiva, o espaço que a SEI gera para o desenvolvimento de práticas epistêmicas escolares, as quais devem manter sua relação com as práticas epistêmicas desenvolvidas na ciência real. O artigo levanta também a discussão sobre o desenvolvimento de tais práticas em ambientes virtuais, o que se constitui em uma lacuna na produção acadêmica voltada a este conceito.

Aporte teórico

Práticas epistêmicas

Kelly (2005) define práticas epistêmicas como “atividades sociais de proposição, comunicação e avaliação do conhecimento” (KELLY, 2005, p. 02). Para a determinação das práticas epistêmicas mobilizadas pelos alunos consideramos um conjunto apresentado por Araújo (2008), Jiménez-Aleixandre et al. (2008), Freire; Silva; Borges (2014) e Kelly e Licona (2018). Por definição, entendemos que as práticas epistêmicas não são limitadas a um conjunto que possibilite sua exaustiva caracterização, uma que vez que, sendo dependentes do campo e do tempo, podem

surgir mediante os desafios que envolvem a produção de conhecimento. Sendo assim, optamos por apresentar a seguir apenas a definição das práticas que foram verificadas em nossa análise.

A instância social de proposição do conhecimento corresponde aos momentos em que os alunos buscam propor afirmações sobre os fenômenos. Em tais momentos, o intuito é dar sentido aos fenômenos ao propor uma série de afirmações que podem ser consideradas e modificadas ao longo do tempo pelos membros do grupo. Para essa instância temos as seguintes práticas:

1. Checando entendimento – quando os alunos, geralmente por meio de perguntas, verificam se sua compreensão sobre determinado assunto está adequada;
2. Concluindo – quando os alunos finalizam um raciocínio, questão ou problema;
3. Construindo e refinando modelos – quando os alunos trabalham na elaboração ou melhoramento de modelos explicativos;
4. Elaboração de hipóteses – quando os alunos elaboram alternativas de respostas possíveis ou explicações para responder a um problema proposto.
5. Lidando com situação anômala ou problemática – para os momentos nos quais a questão ou problema que se busca responder difere do que era esperado ou ainda quando os alunos se defrontam com um problema para o qual não conseguem formular hipótese ou chegar a uma resposta;
6. Problematizando – quando os alunos criam um problema/questão relacionado ao tema que está sendo estudado ou retoma um problema/questão anteriormente proposto (ARAÚJO, 2008);

Além dessas categorias, verificamos, ao longo da nossa análise, a necessidade de criação de mais duas, relacionadas à instância social de proposição do conhecimento:

7. Planejando artefato experimental – quando os alunos elaboram procedimentos para construção de um artefato para determinado fim;
8. Selecionando variáveis para planejar artefato experimental – quando os alunos selecionam variáveis que devem ser levadas em conta nos momentos de elaboração de um artefato experimental.

A instância social de comunicação do conhecimento corresponde aos momentos nos quais os alunos precisam usar a criação de sentido, persuasão e/ou representação de seu pensamento. Nesta instância temos as seguintes práticas:

1. Argumentando – quando os alunos formulam conclusões sustentadas por evidências e garantias ou avaliam conclusões ou evidências alheias;
2. Comparando – quando os alunos buscam estabelecer relações de semelhança ou diferença entre determinados objetos ou eventos;
3. Definindo – quando os alunos enunciam um dado sentido que se pretende conferir a uma palavra ou expressão de modo que possa, a partir de então, ser tomada como referência coletiva;
4. Descrevendo – quando os alunos retratam por meio de características um fenômeno ou objeto;
5. Exemplificando – quando os alunos usam exemplos particulares para sustentar uma ideia mais geral;
6. Explicando – quando os alunos utilizam algum modelo teórico ou relação causal a fim de tornar compreensível um fenômeno, objeto ou sistema;
7. Generalizando – quando os alunos elaboram descrições ou explicações que são independentes de um contexto específico (SILVA, 2008);
8. Narrando – quando os alunos enunciam fatos por meio de um relato em ordem temporal de acontecimentos (ARAÚJO, 2008);
9. Negociando explicações – quando os alunos, almejando um consenso, buscam negociar uma explicação plausível.
10. Transformando dados – quando os alunos, de posse de dados anteriormente coletados ou fornecidos, realizam algum procedimento de tratamento de dados (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE et al, 2008).

Optamos, assim como Araújo (2008), por enquadrar a prática epistêmica argumentação na instância de comunicação do conhecimento. Isso não significa dizer que não estamos considerando o sentido avaliativo da argumentação. Entendemos a argumentação como exposição ou comunicação de justificativas para alegações de conhecimento, assim como processo de avaliação acerca dos méritos de uma afirmação, evidência ou modelo científico. Entretanto, este trabalho não se preocupou em distinguir tais dimensões da argumentação.

A instância social de avaliação do conhecimento corresponde aos momentos em que os alunos avaliam ou justificam o conhecimento gerado. Eles analisam criticamente os conhecimentos produzidos, estabelecendo relações entre teorias e evidências experimentais. Nesse sentido, eles contrastam as conclusões (próprias ou

alheias) com as evidências; ou seja, avaliam a plausibilidade dos conhecimentos elaborados frente aos fenômenos analisados. Nessa instância, temos as práticas:

1. Avaliando a plausibilidade das hipóteses – quando os alunos avaliam, baseados em conceitos ou situações cotidianas, uma hipótese anteriormente apresentada;
2. Complementando ideias – quando os alunos complementam uma ideia ou raciocínio anteriormente dito;
3. Criticando declarações de outros – quando os alunos criticam ou julgam declarações ditas anteriormente;
4. Usando conceitos para avaliação de conclusões – corresponde aos momentos de avaliação de conclusões por meio de conceitos já apropriados (FREIRE; SILVA; BORGES, 2014).

Argumentação

A BNCC aponta que a Educação Básica deve assegurar aos estudantes o desenvolvimento de competências gerais. O sentido de competência é definido como a utilização de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores na resolução de demandas do cotidiano, do desenvolvimento da cidadania e do mundo do trabalho. Entre as 10 competências gerais apresentadas na BNCC, a 7ª refere-se à argumentação: “Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns [...]” (BRASIL, 2018, p. 9).

A argumentação pode ser entendida como a exposição de um ponto de vista justificado diante de uma audiência, expressando uma linha de raciocínio que se configura a fim de dar sustento e tornar clara uma ideia que se busca legitimar.

Van Eemeren e Grootendorst (2004) definem a argumentação com uma atividade verbal, social e racional que visa convencer uma audiência da razoabilidade crítica de um ponto de vista por colocar uma série de proposições justificando ou refutando a proposição expressa no ponto de vista. Neste sentido, como apontam Jimenez-Aleixandre e Erduran (2007), a argumentação assume características de justificação do conhecimento e persuasão, as quais se encontram ligadas entre si. Assim, ideias são articuladas de modo a ancorar, dar respaldo justificativo à

concepção que delas se forma e, por fim, busca-se convencer os interlocutores, de modo a garantir a aceitação de tal concepção.

A argumentação em tópicos científicos pode ser definida como a conexão entre asserções (ou conclusões) e dados, por meio de justificativas ou avaliações do conhecimento a luz de evidências, que podem ser empíricas ou teóricas. A argumentação como persuasão pode ser entendida como um conjunto de estratégias para convencer uma audiência. Nessa perspectiva, Billig (1987) discute que um argumento tem tanto o sentido de articulação de um ponto de vista, portanto caráter individual, como também de debate, o que o torna intrinsecamente social.

É importante salientar que tanto van Eemeren et al. (1996) quanto Billing (1987) concordam quanto à necessidade de ocorrência de pontos de vista controversos para que ocorra a argumentação. Billing (1987) aponta que em um diálogo no qual todos os seus integrantes estão em concordância não há ocorrência de argumentação; contudo, isso não significa dizer que a argumentação esteja atrelada a uma total assimetria entre os componentes do diálogo, pelo contrário, é necessário um certo grau de simetria entre eles para que possa haver uma interação argumentativa.

Tendo em vista que a argumentação é constitutiva da produção e legitimação dos conhecimentos científicos na ciência real, considera-se a sua relevância também na ciência escolar. Assim, presume-se que o investimento em atividades investigativas favorece o desenvolvimento desta prática discursiva pelos alunos, que por meio dela podem vivenciar as práticas e os discursos da ciência real, aprendendo sobre a Natureza da Ciência. Nesse sentido, a argumentação pode ser entendida como uma prática epistêmica sofisticada, que se sustenta em outras práticas, tais como o planejamento para produção de dados, o tratamento e análise desses dados, os quais serão utilizados como evidências para as conclusões formuladas como respostas a questões investigativas (SILVA, 2015).

Embora possa se considerar que a argumentação está presente em uma variedade de discursos, consideramos, em nossas pesquisas, o seu papel direcionado à justificação e persuasão em relação aos conhecimentos que se busca produzir como respostas às questões investigativas. Assim, as dimensões argumentativas que podem compor as falas dos alunos diante da variedade de situações que surgem ao longo de uma investigação fogem ao olhar que elaboramos para os dados. Nossa percepção de argumentação volta-se para os momentos em que os alunos justificam

suas conclusões por meio de evidências experimentais ou teóricas e as contrapõem àquelas apresentadas pelos colegas, a fim de avaliar a plausibilidade de diferentes possibilidades de respostas às questões propostas. Mendonça e Justi (2013, p. 196) observam que a argumentação “[...] pode ser compreendida como um processo social de justificativa de conclusões, que se dá a partir da coordenação de dados e teorias científicas, sendo que a avaliação do conhecimento é seu aspecto central.”

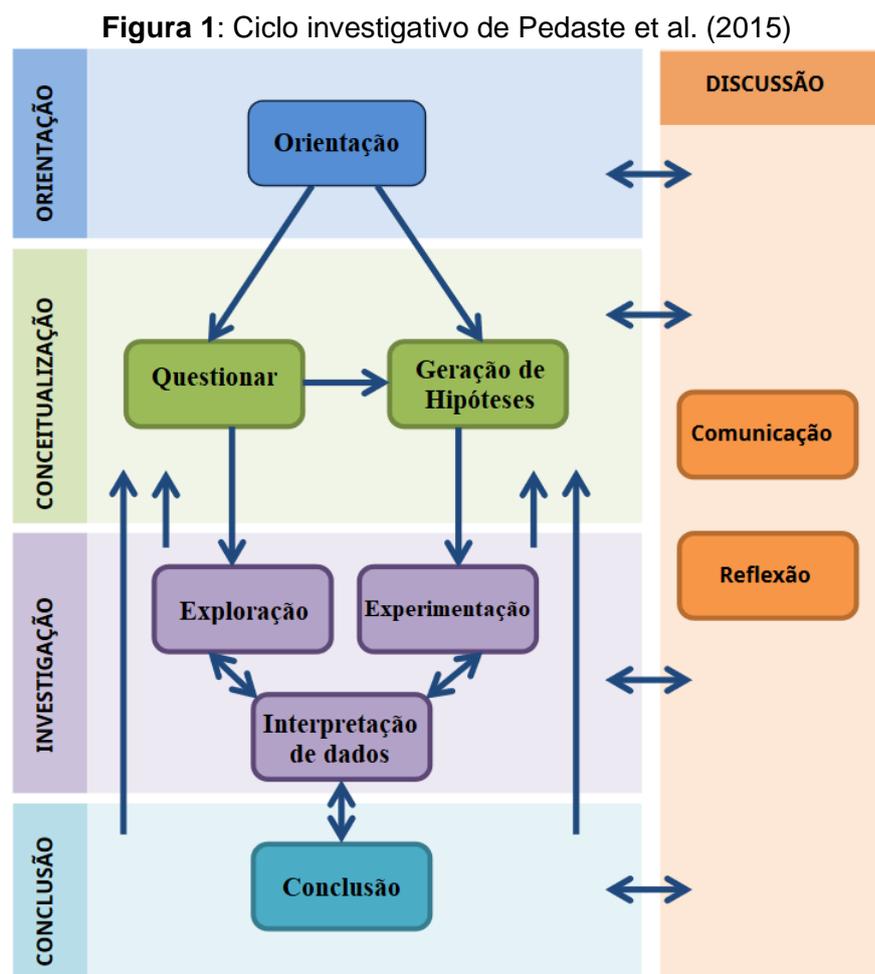
Nesse ponto, é importante também ressaltarmos a diferença que Osborne e Patterson (2011) estabelecem entre argumento e explicação. Para os autores, a explicação corresponde a um aprofundamento do conhecimento sobre dado fenômeno, geralmente por meio de relações causais entre fatos científicos. Assim, a explicação responde a um questionamento sobre um *explanandum* (fenômeno ou característica cuja existência é indubitável), associando entre si asserções sobre ele por meio de uma relação causal. A argumentação por sua vez, caracteriza-se pelo ato de justificar a adoção de uma explicação diante de outras possibilidades explicativas. Os autores consideram que o foco de qualquer argumento em torno de uma explicação é verificar se tal explicação é satisfatória ou se é melhor que outras. Com base no Padrão de Argumento de Toulmin (TOLMIN, 2006), eles observam, ainda, que os argumentos envolvem dados, conclusões e garantias de inferência, ainda que estas últimas estejam implícitas. A explicação, por sua vez, não envolve tal estrutura.

Nesta pesquisa, o movimento argumentativo surgiu quando os alunos buscavam avaliar as suas hipóteses explicativas, relacionando-as aos dados analisados.

O ciclo investigativo de Pedaste et al.

Pedaste et al. (2015) apresentam uma revisão da literatura sobre as características essenciais presentes em propostas de ensino investigativo. Os autores identificaram e resumiram as principais características do ensino por investigação e sintetizaram um ciclo que combina os pontos fortes das estruturas existentes desse tipo de abordagem didática. A revisão resultou na definição de um ciclo investigativo, apresentado na Figura 1, que contempla vários elementos do ensino por investigação. Tomamos esse referencial para a construção/reformulação da sequência de ensino investigativa de nossa pesquisa.

Ainda conforme Pedaste et al. (2015), o ensino por investigação denota uma imersão dos alunos em um autêntico processo de descoberta científica. Contudo, tal imersão deve ser acompanhada por um tratamento didático-pedagógico que divida o complexo processo científico em unidades menores, as quais devem estar conectadas por uma lógica que possa orientar os alunos e chamar sua atenção para aspectos importantes do pensamento científico. Essas unidades menores são chamadas de fases de investigação e seu conjunto de possíveis conexões forma um ciclo de investigação.



Fonte: Traduzido e adaptado de Pedaste et al. (2015, p. 56).

Esse ciclo é semelhante a vários outros presentes na literatura, todavia, sintetiza termos centrais e cobre a maioria das fases da investigação descritas nos artigos utilizados na revisão. De maneira geral, a estrutura reúne elementos essenciais do ensino baseado em investigação e os conecta de maneira a mostrar que várias implementações de ciclos de investigação podem se desenvolver a partir

de uma única estrutura. O ciclo é composto por cinco fases gerais (Orientação, Conceitualização, Investigação, Conclusão e Discussão) e nove subfases mais específicas, que estão conectadas, mas não de maneira contínua, isto é, os caminhos que conectam as fases e subfases permitem variadas interações e um movimento cíclico, o que contribui para a construção de diversos processos de investigação.

Geralmente, a literatura apresenta ciclos de investigação que seguem uma sequência ordenada de fases, mas é importante ressaltar que esse processo não é necessariamente linear, uniforme e prescrito. As fases de investigação e os processos relacionados podem ser organizados em diferentes possibilidades as quais são dependentes de situações específicas de aprendizagem (PEDASTE et al., 2015).

A fase de Orientação corresponde ao processo de estímulo à curiosidade dos alunos sobre um tópico, isto é, trata-se do momento no qual o professor ou o roteiro de atividades direciona o interesse dos alunos para o problema que será resolvido. É neste momento que as concepções prévias dos alunos são levantadas.

Na fase de Conceitualização acontece o processo de formulação de questões e/ou hipóteses baseadas em uma teoria. Sendo assim, nesta fase ocorre a mobilização de conceitos por parte dos estudantes para criação de questões e/ou hipóteses decorrentes do problema central de investigação. A subfase Questionar está atrelada ao surgimento de questões relacionadas ao processo investigativo, envolvendo questionamentos que denotam observações, descrições, comparações ou explicações. A subfase Gerar Hipóteses corresponde ao processo de criação de possíveis respostas ou explicações voltadas ao problema de investigação e que futuramente poderão ser testadas.

A fase de Investigação envolve o processo de planejamento de explorações ou experimentações para coleta, registro e análise de dados que possam responder à problemática da investigação. A Exploração compreende estratégias voltadas à verificação de relações entre as variáveis envolvidas na questão de pesquisa, sem que seja necessário elaborar hipóteses. A exploração pode se dar, por exemplo, por meio de observações e anotações de características do ambiente, objeto ou fenômeno investigado. A Experimentação envolve planejar e aplicar um plano estratégico para o teste das hipóteses elaboradas na fase anterior, presumindo o controle e manipulação de variáveis. Seguindo essas subfases, tem-se a Interpretação de Dados que corresponde ao processo de dar sentido aos dados coletados, pela mobilização ou articulação de conceitos, e sintetizar novos conhecimentos.

A fase de Conclusão corresponde aos momentos de elaboração de conclusões, a partir dos dados obtidos, verificando se estas respondem à questão de pesquisa. É o momento de comparar as inferências baseadas nos dados com hipóteses ou questionamentos, decorrentes da fase de Conceitualização.

A fase de Discussão pode ser desenvolvida a qualquer momento durante todo o ciclo investigativo. Ela corresponde aos instantes de apresentação dos resultados obtidos em qualquer das fases ou em todo o processo investigativo e aos momentos de reflexão sobre a investigação realizada. A Comunicação é marcada pela interação entre indivíduos, momento em que os resultados são avaliados pelos pares e os *feedbacks* são apresentados, constituindo um processo regulado pela discussão com os outros. A Reflexão é caracterizada por ser uma discussão interna, na qual fases ou todo o processo de investigação pode ser descrito, criticado e avaliado.

Para além dessas fases apresentadas no ciclo investigativo, decorrente da revisão de literatura, Pedaste et al. (2015) discutem que os artigos analisados apontaram também para processos futuros, isto é, etapas que, embora não estivessem diretamente ligadas ao processo investigativo, e, por isso não foram incluídas no ciclo de investigação apresentado, se beneficiariam dos resultados e conclusões obtidos da investigação. Os autores rotularam esses processos como: 'aplicar', 'aplicando conhecimento a novas situações', 'aplicação e expansão', 'aplicar novos conhecimentos para resolver problemas práticos' ou 'novas/futuras investigações' e 'iniciar novas questões para investigar'. Consideramos todos esses processos para elaboração de uma única fase que rotulamos de Aplicação do Conhecimento. Tal fase corresponde à utilização dos resultados e conclusões, ou seja, do conhecimento obtido de uma investigação, para aplicação em novas situações, resoluções de problemas práticos ou ainda suscitar novas questões que possam demandar novos ciclos investigativos.

Encaminhamento metodológico

O contexto

Inicialmente, planejamos aplicar uma Sequência de Ensino Investigativa de forma presencial, no entanto, por conta da pandemia de coronavírus, isso não foi possível. Com o perdurar e desenrolar da pandemia, estados e municípios

organizaram-se para oferecer atividades remotas aos estudantes. Optamos, assim, por adaptar a SEI para que fosse aplicada na forma virtual.

A SEI, estruturada e ampliada a partir da apresentada por Nascimento (2015) em sua dissertação de mestrado, foi aplicada para um grupo de 11 alunos da 2ª série do Ensino Médio do Colégio de Aplicação da UFS, sendo desenvolvida ao longo de três encontros virtuais em momentos destinados a atividades remotas de Física, cedidos pelo docente responsável pela disciplina. Os três encontros totalizaram, aproximadamente, sete horas de duração.

Os procedimentos de coleta e tratamento de dados

Os encontros foram realizados dentro de uma plataforma virtual por meio de videoconferências. A plataforma possibilitou a participação pelo navegador de *internet* ou por meio do aplicativo instalado em sistemas operacionais de dispositivos móveis. As funcionalidades possibilitadas pela plataforma foram: compartilhamento de tela para apresentação de documentos, planilhas e imagens de variados tipos; troca de mensagens em tempo real por meio de *chat* e gravações em vídeo de todos os encontros, além dos registros do *chat*. Uma importante característica dessa plataforma é focalizar o emissor do discurso nos turnos de fala, permitindo assim, que apenas um único locutor fale por vez. Isso foi de extrema valia para os momentos de discussão, fazendo os participantes respeitarem os turnos de fala individuais.

Além dos dados registrados em vídeo, foi possível a coleta de dados decorrentes do material instrucional por meio de questionários. No decorrer das atividades, os questionários foram disponibilizados por meio de *links* no *chat* dos encontros. As informações coletadas por meio dos questionários foram transmitidas automaticamente.

Entre os encontros, os alunos responderam questionários extraclasse, enviando as respostas antes do início do encontro seguinte. Assim, foi possível para o pesquisador analisar, antes dos encontros (com exceção do primeiro), as respostas dos alunos, de modo a fomentar melhor a discussão.

Todos os registros produzidos foram armazenados em computador. As gravações em vídeo foram transcritas em sua íntegra, sem alteração nas falas dos alunos e professor. Após o término da transcrição de cada encontro, cada vídeo foi revisto e comparado com a transcrição anteriormente feita. Esse processo serviu para

verificar possíveis desacordos entre as falas e o material transcrito. As aulas transcritas foram fragmentadas em episódios e em todos aqueles em que a discussão estava voltada para o conteúdo proposto, as ações dos alunos foram caracterizadas por meio do emprego das categorias de práticas epistêmicas. As gravações em vídeo foram também submetidas ao software Videograph para a obtenção dos percentuais de tempo referentes às categorias empregadas na análise.

A Sequência de Ensino

A SEI foi desenvolvida com a temática de Física Térmica, com foco na dilatação térmica dos sólidos. A dilatação térmica é um tipo de fenômeno que pode ocorrer com sólidos, líquidos ou gases, sendo um tema presente nos mais variados currículos de ensino de Física. Os seus efeitos podem ser facilmente percebidos em situações do cotidiano, fato que pode contribuir para despertar um genuíno interesse pelo tema.

A utilização de atividades experimentais, além de contribuir para estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade e interesse e favorecendo um efetivo envolvimento com sua aprendizagem, pode proporcionar a construção de um ambiente favorável e repleto de situações novas e desafiadoras que, quando bem empregadas, aumentam a probabilidade de que sejam elaborados conhecimentos e desenvolvidas habilidades, atitudes e competências relacionadas ao fazer e entender a Ciência (ARAÚJO; ABIB, 2003).

A SEI apresentada neste trabalho tem por objetivo geral proporcionar que os alunos elaborem explicações e argumentos com base em evidências sobre o processo de dilatação térmica dos sólidos. O intuito de sua aplicação foi permitir que os alunos se apropriassem, de maneira ativa, do conceito de dilatação térmica dos sólidos, criando relações com outros conceitos científicos e conexões com situações cotidianas.

O Quadro 1 sintetiza todas as etapas da SEI, suas atividades centrais e as fases e subfases mobilizadas ao longo de toda a sua evolução.

Quadro 1: Fases e subfases mobilizadas durante toda a SEI

Etapa	Atividades Centrais	Fase	Subfase
Introdução	Direcionar a visão para o problema investigado	Orientação	Não há
Etapa 1	Atividade Experimental 01	Conceitualização	Propor questões Elaborar hipóteses
		Investigação	Experimentação Interpretação de dados
		Conclusão	Não há
	Atividade Experimental 02	Investigação	Experimentação Interpretação de dados
		Conclusão	Não há
Aplicação dos conceitos em situações diversas	Aplicação do conhecimento	Não há	
Etapa 2	Atividade Experimental 03	Investigação	Experimentação Interpretação de dados
		Conclusão	Não há
Etapa 3	Determinação de coeficiente de dilatação linear	Conceitualização	Propor questões Elaborar hipóteses
		Investigação	Interpretação de dados
		Conclusão	Não há
Etapa 4	Aplicação do conhecimento Restauração Dentária e Lâmina Bimetálica	Aplicação do conhecimento	Não há
		Conclusão	
Etapa Final	Aplicação dos conceitos em situações diversas	Conclusão	Não há
		Aplicação do conhecimento	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Resultados e Discussão

A estrutura da SEI

A sequência de ensino investigativa foi estruturada em seis etapas: Introdução, Etapa 1 – Elaborando conceitos fundamentais; Etapa 2 – O coeficiente de dilatação; Etapa 3 – Determinando o coeficiente de dilatação linear dos metais; Etapa 4 – A dilatação térmica dos sólidos em nosso dia a dia; e Etapa Final. O critério para a divisão em etapas foi a relação entre os conceitos, tendo em vista a possibilidade de elaboração conceitual dos alunos ao longo das fases que caracterizam o ciclo investigativo proposto por Pedaste et al. (2015). A seguir, discutimos sobre as etapas.

A primeira etapa da SEI, denominada “Introdução”, corresponde à fase de Orientação no Ciclo Investigativo de Pedaste et al. (idem). O objetivo desta etapa foi fomentar o engajamento dos alunos para as aulas que seriam desenvolvidas, bem como explorar as suas concepções prévias. Para isso, após a leitura de um texto introdutório que chama a atenção para a existência de fenômenos de interesse da

Física no dia a dia, foram apresentadas situações cotidianas envolvendo o fenômeno da dilatação térmica, para as quais os alunos deveriam elaborar explicações.

A primeira situação mostrou, por meio de uma charge (<http://portaldoprofessor.mec.gov.br>), a tentativa frustrada de um operário musculoso para desatarraxar a porca de um parafuso, feito este que foi conseguido facilmente por um segundo operário quando aqueceu brevemente a porca. A segunda situação apresentou imagens de trilhos de trem e uma ponte, em que era perceptível a presença de espaços vazios. Cada situação apresentada foi seguida por perguntas cujas repostas, enviadas por escrito pelos alunos ao pesquisador, eram socializadas para todo o grupo, fomentando um debate.

As perguntas apresentadas no material instrucional e retomadas pelo professor em interação com os alunos, além de instigarem a elaboração de explicações direcionadas a eventos específicos, demandavam, ao final, a prática epistêmica de generalização. Vejamos, por exemplo, a última pergunta desta etapa: Com relação aos materiais que formam os objetos apresentados nas imagens e na charge, qual o fenômeno que caracteriza o comportamento apresentado por eles? Seria possível elaborar uma regra geral (Lei) que pudesse prever tal comportamento?

Após a Introdução, tem-se a Etapa 1, denominada “Elaborando conceitos fundamentais”. Esta etapa foi estruturada em torno de dois experimentos que correspondem a ciclos investigativos menores inseridos no ciclo mais amplo em que se constitui a SEI, sendo o primeiro deles composto pelas fases de Conceitualização, Investigação e Conclusão, e o segundo, apenas por essas duas últimas fases.

Os experimentos foram apresentados por meio de vídeos e imagens, de modo a permitir aos alunos a elaboração inicial de hipóteses e, posteriormente, a observação e interpretação dos dados e conclusão. Seguiu-se, nessa fase de investigação, a estrutura P-O-E (Prever-Observar-Explicar) (GUNSTONE, 1990, PALMER, 1995), a qual se repetiu nas demais investigações da Etapa 1 e, com algumas variações que explicaremos oportunamente, em outras etapas da SEI. Assim, as situações problemáticas eram apresentadas aos alunos, estes elaboravam as suas hipóteses (previsões) antes de passarem a observar e analisar o experimento apresentado e, por fim, elaborarem suas respostas (interpretações/explicações) aos questionamentos propostos e as apresentarem, por escrito, ao pesquisador. Em seguida, como informamos, o pesquisador promovia um debate com toda a turma,

fazendo uso de diferentes estratégias discursivas para que fossem exploradas as ideias dos alunos e alcançadas as concepções científicas.

Assim, práticas epistêmicas inseridas nas instâncias de proposição (por exemplo, elaboração de hipóteses e organização de dados), comunicação (por exemplo, descrição, explicação e generalização) e avaliação do conhecimento (por exemplo, a argumentação) eram requeridas por meio dos questionamentos e mobilizadas ao longo das discussões e debates. Com relação aos conceitos, nesta primeira etapa foram mobilizados os seguintes: temperatura, calor, dilatação térmica, massa, volume e constituição da matéria.

O Experimento 1 (<https://youtu.be/gEAIKzSbRug>) envolveu a seguinte situação: Uma chave, segura por um alicate, é colocada em contato com a chama de uma vela, por alguns segundos e, em seguida, tenta-se inseri-la em seu cadeado, o que, de fato, não foi possível. A chave só adentrou no cadeado após o seu resfriamento em água. O experimento envolveu as subfases Elaborar Questões e Gerar Hipóteses, inseridas na fase de Conceitualização, Experimentação (apresentada em vídeo) e Interpretação dos Dados na fase de Investigação; e, por fim, a fase de Conclusão, em que os alunos concluíram sobre as explicações e modelos elaborados para a chave, antes e após o aquecimento.

O experimento 2, denominado de Anel de Gravesandre, diferentemente do primeiro, foi apresentado por meio de um texto descritivo e um conjunto de imagens que representavam todas as suas etapas. Aqui, de início, ocorreu a fase de Investigação, com a subfase Experimentação, vivenciada pelos alunos por meio das imagens e do texto. Após o experimento, instaurou-se a subfase de Interpretação de Dados. A fase de Conclusão envolveu um último questionamento em que se solicitou aos alunos a elaboração de um texto que pudesse abranger e explicar todas as situações discutidas até àquele momento (Experimento 1, Experimento 2 e situações propostas na Introdução), fazendo uso do termo dilatação térmica. Uma discussão para fechamento de ideias foi conduzida pelo pesquisador ao final da atividade.

Após os dois experimentos, considerando-se que o conceito de dilatação térmica e outros a este relacionados já haviam sido introduzidos, foi instaurada a fase de Aplicação do Conhecimento, por meio da análise de duas novas situações. A primeira situação abordou um problema com copos entalados, solicitando que os estudantes apontassem uma estratégia para separá-los. A segunda apresentou uma problemática em torno de objetos compostos por vidros diferentes e suas resistências

à variação de temperatura. A ideia aqui foi instigar a percepção de que materiais diferentes têm diferentes capacidades de dilatação. Ambas as situações demandaram a aplicação de conceitos já introduzidos nos ciclos investigativos menores, sendo que a segunda oportunizou a criação de uma nova questão para investigação, uma vez que chamou a atenção para uma característica ainda não explorada: o coeficiente de dilatação. Tal conceito foi abordado na etapa seguinte. Esta etapa 1 da SEI foi fechada com um texto (Texto 1) que sintetizou as principais ideias já discutidas.

À Etapa 1, seguiu-se a Etapa 2, denominada “O coeficiente de dilatação”. Como o próprio nome indica, o objetivo central desta etapa foi proporcionar a elaboração de tal conceito, após conceitos fundamentais terem sido já introduzidos na etapa anterior. Esta etapa teve início com a apresentação da Atividade Experimental 3 - Aquecimento de uma lâmina “bimetálica”, constituída por um texto que fornecia uma descrição dos materiais que seriam utilizados no experimento, e um vídeo (<https://youtu.be/CntctcVIPNg>) que apresentava o desenvolvimento do experimento. O experimento consiste na exposição de uma lâmina composta por dois materiais diferentes (alumínio e papel sulfite), estando cada um constituindo uma das suas faces. O comportamento da lâmina frente ao aquecimento foi explorado no sentido de indicar que o alumínio apresentava coeficiente de dilatação maior que o do papel.

A Etapa 2 envolveu a fase de Investigação, com as subfases Experimentação e Interpretação dos Dados, e a fase de Conclusão, apresentando uma dinâmica semelhante àquela da Etapa 1. Ela também compreendeu a leitura de um texto (Texto 2) de fechamento que, além de discutir os conceitos já apresentados, acrescentou informações sobre os diferentes tipos de dilatação.

Antes de passarmos à Etapa 3, no Quadro 2 apresentamos uma síntese das três primeiras etapas da SEI. Na Etapa 3, denominada “Determinando o coeficiente de dilatação linear dos materiais”, os alunos foram inicialmente solicitados a elaborar um esquema experimental para determinação do coeficiente de dilatação linear de dois metais: alumínio e latão. O esquema experimental elaborado pôde, posteriormente, ser comparado com as informações presentes em um texto (Texto 3) que apresentou o dispositivo dilatômetro e o seu processo de funcionamento, com uma imagem ilustrativa.

Quadro 2: Estrutura da SEI – Introdução, Etapa 1 e Etapa 2

INTRODUÇÃO					
Fase	Orientação				
Subfases	Não há				
Objetivos	Objetiva-se que o aluno consiga: Apresentar suas concepções acerca de eventos envolvendo o fenômeno da dilatação térmica. Tornar-se curioso em relação à temática proposta. Mobilizar-se para o envolvimento na SEI.				
Conceitos envolvidos	Temperatura; Calor; Dilatação térmica.				
Estratégias didáticas	Apresentação de imagens de situações cotidianas envolvendo o fenômeno da dilatação. Proposição de questionamentos. Discussão.				
Recursos	Texto Introdutório. Imagens. Questões propostas.				
ETAPA 1: Elaborando conceitos fundamentais					
Experimento 1 – O aquecimento da chave					
Fases	Conceitualização		Investigação		Conclusão
Subfases	Propor questões	Elaborar hipóteses	Experimentação	Interpretação de dados	Não há
Objetivos	Compreender as questões propostas e elaborar outras decorrentes das iniciais.	Elaborar hipóteses para as questões propostas e por ele formuladas.	Acompanhar o experimento em vídeo para obtenção e organização de dados.	Interpretar os dados obtidos para construir uma explicação para o fenômeno.	Apresentar suas explicações para os resultados experimentais contrapondo-as às hipóteses elaboradas.
Conceitos envolvidos	Temperatura; Calor; Volume; Massa; Temperatura; Dilatação térmica; Constituição da matéria.				
Estratégias didáticas	Proposição de questões. Exibição de vídeo. Diálogo com os alunos.				Discussão com toda a turma.
Recursos	Roteiro de experimento com questões propostas. Vídeo apresentando experimento.				Questões propostas no roteiro.
ETAPA 1: Elaborando conceitos fundamentais					
Experimento 2 – O anel de Gravesandre					Novas situações: copos entalados e vidros com diferentes resistências à temperatura
Fases	Investigação			Conclusão	Aplicação do conhecimento
Subfases	Experimentação		Interpretação de dados	Não há	Não há
Objetivos	Realizar observações e leituras para obtenção e organização de dados.		Interpretar os dados obtidos para construir uma explicação para o fenômeno.	Elaborar uma conclusão explicativa para o fenômeno da dilatação térmica.	Elaborar explicações para os fenômenos apresentados.

Conceitos envolvidos	Aquecimento e resfriamento; Temperatura; Calor; Volume; Massa; Dilatação térmica; Constituição da matéria.		Conceitos trabalhados nas etapas anteriores.
Estratégias didáticas	Apresentação de imagens. Proposição de questões. Diálogos com os alunos.	Discussão com toda a turma. Leitura de texto.	Proposição de questões. Discussão com toda a turma.
Recursos	Roteiro de experimento com questões propostas e imagens. Texto 1.	Questões e imagens propostas no roteiro.	Questões propostas e imagens.
ETAPA 2: O coeficiente de dilatação			
Experimento 3 – Aquecimento da lâmina bimetálica			
Fases	Investigação		Conclusão
Subfases	Experimentação	Interpretação de dado	Não há
Objetivos	Acompanhar e descrever o experimento para obtenção de dados, considerando as diferentes capacidades de dilatação de materiais distintos.	Interpretar os dados obtidos para explicar, comparativamente, situações distintas de dilatação.	Definir coeficiente de dilatação.
Conceitos envolvidos	Calor; Dilatação térmica; Coeficiente de dilatação.		
Estratégias didáticas	Proposição de questões. Exibição de vídeo. Discussão com toda a turma.		Discussão com toda a turma. Leitura de texto.
Recursos	Roteiro de experimento com questões propostas. Vídeo apresentando experimento. Texto 2.		Roteiro de experimento com questões propostas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Todo este momento, em que os alunos planejaram e esquematizaram um dispositivo para o experimento, correspondeu à fase de Conceitualização. Eles fizeram uso de conceitos para formular questões e hipóteses acerca das formas possíveis de determinação do coeficiente de dilatação térmica, as quais foram comparadas, posteriormente, às informações apresentadas no Texto 3 e exploradas pelo pesquisador em uma exposição. Na atividade seguinte, os alunos interpretaram dados tabelados, a fim de calcular os coeficientes de dilatação de três tubos metálicos: aço, alumínio e latão. Essa foi a fase de Investigação, com a subfase Interpretação dos Dados. Na fase de Conclusão, por fim, houve uma discussão acerca da previsibilidade do comportamento de tais materiais frente ao aquecimento, tendo em vista os seus coeficientes de dilatação.

A Etapa 4, denominada “A dilatação térmica dos sólidos em nosso dia a dia”, compôs-se de duas atividades voltadas à fase de Aplicação do Conhecimento, tendo em vista a construção dos conceitos de dilatação térmica e coeficiente de dilatação

linear. Na primeira delas, os alunos obtiveram, por meio de texto e tabelas, informações acerca dos tipos de restauração dentária, considerando as características de cada material utilizado (coeficiente de dilatação, custo, durabilidade e estética) e as suas vantagens e desvantagens. Os alunos tiveram que selecionar um material, dentre os apresentados, para ser utilizado em um hipotético procedimento de restauração em um dos seus dentes, justificando suas escolhas. Na segunda atividade, foi apresentado um texto sobre a lâmina bimetálica e sua aplicação em circuitos elétricos. Os alunos foram solicitados a explicar o uso de tal lâmina em ferro elétrico de passar roupa e alarme de incêndio, considerando uma imagem esquemática de cada um desses dispositivos. Em seguida, tiveram que selecionar dois materiais que poderiam ser usados em uma lâmina bimetálica para constituir um alarme de incêndio. Na fase de Conclusão, os alunos discutiram o que ocorreria se a lâmina nos dispositivos em pauta fosse composta por apenas um metal.

É importante ressaltar que a Etapa 4, por voltar-se à Aplicação do Conhecimento, apresenta estrutura (apresentação e natureza dos eventos e questões) que se diferencia, em certa medida, das anteriores. Tendo em vista às práticas epistêmicas que mobiliza, sobressai-se a argumentação, pois os alunos devem investir, mais que nas outras etapas, na justificação de seus pontos de vista diante de outras possibilidades de resposta, pois a maioria das questões apresentadas nesta etapa possui mais de uma resposta possível.

Na Etapa Final, um pequeno texto sintetizando a importância do conceito de dilatação térmica foi lido pelos alunos. Posteriormente, foram apresentados três questionamentos que exigiam dos alunos a análise de novas situações específicas. O restante desta etapa foi marcado, portanto, por uma última fase de Aplicação do Conhecimento, uma vez que os questionamentos exigiam a aplicação dos conceitos construídos a novas situações envolvendo problemas práticos cotidianos, mais complexos que os anteriores. Isto favoreceu a expansão de uso de tais conceitos (MORTIMER; SCOTT, 2003).

O primeiro questionamento solicitou que fosse demonstrada a relação entre a dilatação de um corpo e sua densidade. O segundo questionamento versava sobre a ligação entre dilatação térmica e comprimento, sendo que o conceito de contração também foi explorado. O terceiro e último questionamento apresentou um problema envolvendo um avião supersônico. Seu enunciado trazia diversos dados sobre uma

aeronave que poderia facilmente atingir a velocidade de Mach 2⁵. Os estudantes deveriam responder se seria possível que o avião tivesse o seu comprimento alterado durante o voo. Em outro item, eles deveriam, com o valor dessa variação de comprimento, encontrar o valor da temperatura na parte externa do avião durante o voo. A intenção foi verificar como os alunos lidariam com uma situação nova em que a variação do comprimento era positiva e a temperatura externa do ambiente era muito menor que a do momento de decolagem.

No Quadro 3, apresentamos uma síntese das três últimas etapas da SEI.

Quadro 3: Estrutura da SEI – Etapa 3, Etapa 4 e Etapa Final

ETAPA 3: Determinando o coeficiente de dilatação			
Fases	Conceitualização	Investigação	Conclusão
Subfases	Não há	Não há	Não há
Objetivos	Planejar uma forma de determinar experimentalmente o coeficiente de dilatação linear de metais. Compreender o funcionamento de um dilatômetro.	Interpretar dados para determinar o coeficiente de dilatação linear por meio de cálculos.	Explicar os resultados obtidos acerca dos coeficientes de dilatação linear. Interpretar o que representa o coeficiente de dilatação linear.
Conceitos envolvidos	Dilatação linear; Coeficiente de dilatação linear.		
Estratégias didáticas	Proposição de planejamento de dispositivo experimental para determinação do coeficiente de dilatação linear. Discussão com toda a turma. Leitura de texto. Exposição sobre o dilatômetro.	Proposição de questões envolvendo cálculos.	Proposição de questões. Discussão com toda a turma.
Recursos	Roteiro de atividades com questões e imagens. Texto 3.	Roteiro de atividades com questões e imagens.	Roteiro de atividade com dados tabelados e questionário.
ETAPA 4: A dilatação térmica dos sólidos em nosso dia a dia			
Fases	Aplicação do conhecimento	Conclusão	
Subfases	Interpretação de dados	Não há	
Objetivos	Selecionar materiais para restauração dentária considerando suas características (coeficiente de dilatação térmica, custo, estética etc.)	Discutir sobre a importância das características de metais para compor a lâmina bimetálica.	

⁵ Mach 2 \cong 680 m/s

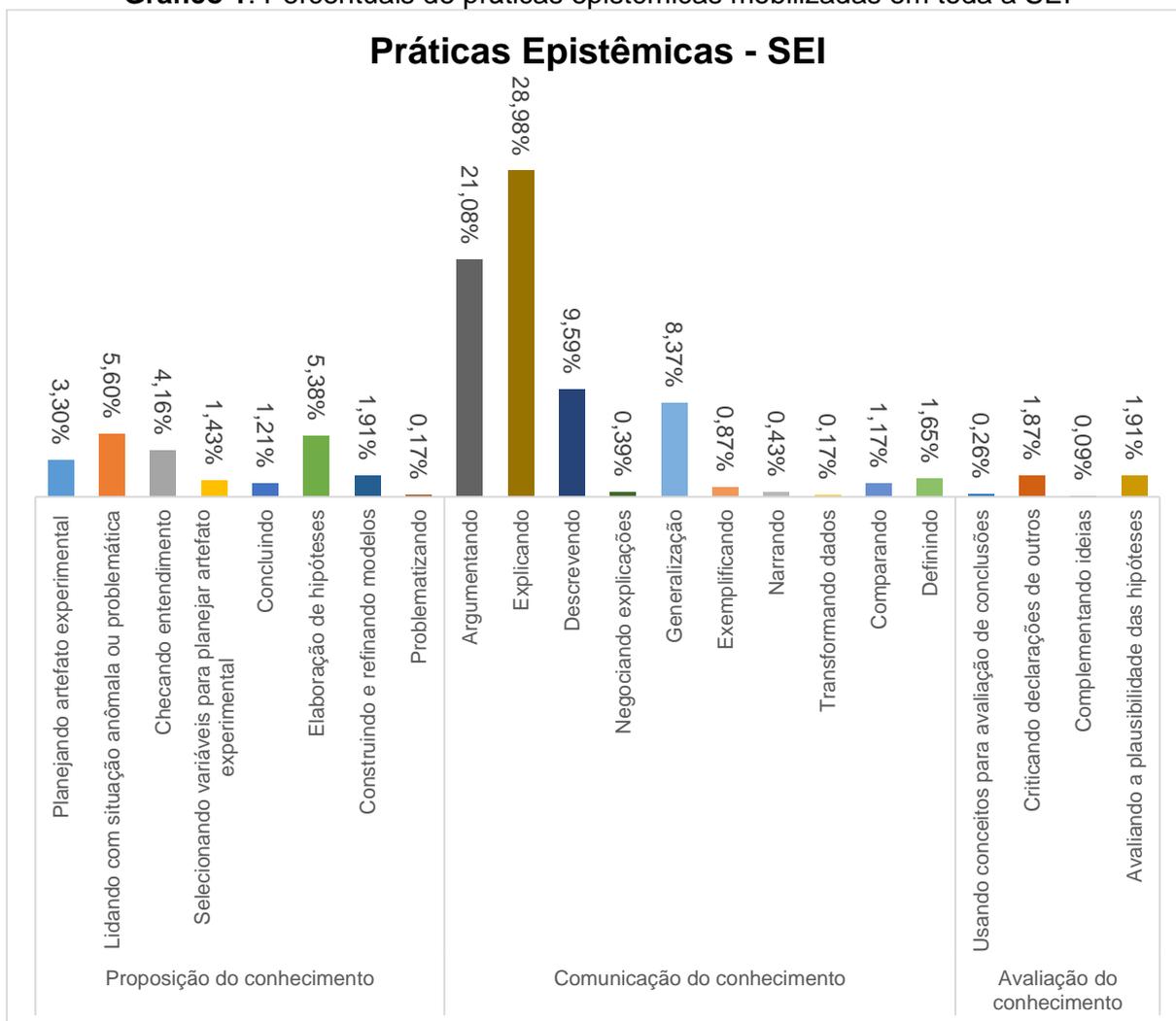
	Analisar o comportamento e uso de lâminas bimetálicas em aparelhos usados no cotidiano.	
Conceitos envolvidos	Coefficiente de dilatação térmica. Lâmina bimetálica. Circuito elétrico.	Dilatação de metais. Coefficiente de dilatação térmica. Lâmina bimetálica
Estratégias didáticas	Proposição de questões. Leitura de textos. Discussão com toda a turma.	Proposição de questões. Discussão com toda a turma.
Recursos	Roteiro de atividade com questões. Roteiro de experimento com questões e imagens. Texto 4.	Questionário.
ETAPA FINAL		
Fases	Conclusão	Aplicação do conhecimento
Subfases	Não há	Não há
Objetivos	Discutir sobre o conceito de dilatação térmica e suas aplicações no dia a dia.	Aplicar os conceitos trabalhados a novas situações.
Conceitos envolvidos	Dilatação térmica Coefficiente de dilatação térmica. Artefatos e situações do cotidiano envolvendo dilatação térmica.	Tipo de materiais. Dilatação térmica. Densidade. Atrito.
Estratégias didáticas	Proposição de questões. Leitura de textos. Discussão com toda a turma.	Proposição de questões. Discussão com toda a turma.
Recursos	Roteiro de atividades com questões propostas. Texto	Roteiro de atividades com questões propostas

Fonte: Elaborado pelos autores.

As práticas epistêmicas mobilizadas na aplicação da SEI

A visualização na seção anterior das etapas da SEI em seus detalhes nos possibilita compreender os resultados obtidos de sua aplicação. O gráfico 1 apresenta os percentuais relativos às práticas epistêmicas performadas pelos alunos durante toda a SEI. Como é possível verificar no Gráfico 1, há uma grande variedade de práticas epistêmicas percorrendo todas as instâncias sociais do conhecimento previstas. Chamam a atenção, entretanto, dentre as 22 práticas apresentadas, os elevados percentuais das práticas explicando (28,98%) e argumentando (21,08%), ambas situadas na instância social de comunicação do conhecimento, sendo que a argumentação pode ser compreendida como inserida também na instância de avaliação. Assim, é perceptível que aproximadamente metade do tempo da aula em que o conteúdo científico foi mobilizado (50,06%) esteve voltado para a elaboração de explicações e argumentos pelos alunos diante dos fenômenos propostos pelo pesquisador. Seguindo estas práticas, aparecem com menores percentuais, mas ainda sobressaindo-se às demais, as práticas descrevendo (9,59%) e generalizando (8,37%), também inseridas na instância de comunicação.

Gráfico 1: Percentuais de práticas epistêmicas mobilizadas em toda a SEI



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tais resultados podem ser compreendidos considerando-se que a SEI foi estruturada de modo a ser aplicada *on-line* e, portanto, evitando o planejamento e desenvolvimento dos experimentos pelos próprios alunos, sendo estes apresentados por meio de vídeos ou imagens. Isto necessariamente contribui para a redução do tempo na instância de proposição do conhecimento, gerando mais espaço para as práticas das instâncias sociais de comunicação e avaliação. Nestas instâncias, os alunos apresentaram seus pontos de vista, interpretando os resultados experimentais observados, representando-os por meio de diferentes linguagens e registros semióticos e contrapondo suas ideias às dos colegas. Outros fatores que contribuem para essa diferença nos percentuais envolvem a opção por experimentos de rápido desenvolvimento e que demandam menor investimento na elaboração de hipóteses pelos alunos, o que ocorreu em nosso caso.

Vale ressaltar, entretanto, que altos percentuais relativos às práticas de descrever, explicar, argumentar e generalizar são desejáveis, haja vista a relevância que estas têm no tocante à construção de novas ideias pelos alunos no contexto de atividades investigativas escolares.

Em escala decrescente, seguindo tais práticas vem as seguintes: lidando com situação anômala ou problemática (5,60%), elaborando hipóteses (5,38%) e checando o entendimento (4,16%), todas elas na instância de proposição do conhecimento. Assim, embora essa instância tenha tido seu tempo reduzido diante das demais, a estrutura da SEI garantiu certo espaço para que os alunos elaborassem seus olhares iniciais para os possíveis resultados experimentais, organizando suas ideias prévias a fim de tornarem-se conscientes delas, o que é importante para o processo de metacognição e autoavaliação de sua aprendizagem. Nessa direção, ainda podemos considerar o tempo destinado à prática planejando artefato experimental (3,3%), também inserida na instância de proposição do conhecimento, que correspondeu ao momento em que os alunos planejaram uma forma de obter o coeficiente de dilatação térmica linear de sólidos.

Depois dessas práticas mencionadas, as demais aparecem com percentuais mais aproximados entre si e que, somadas, não ultrapassam 2,00% do tempo total codificado. Apresenta-se com o menor percentual a prática complementando ideias, com 0,09%. Nesse ponto, é importante consideramos o quanto determinadas práticas, a exemplo desta citada, tendem a sobressair-se quando os alunos trabalham entre si, em pequenos grupos, na ausência do professor, o que não ocorre quando se trabalha *on-line* em aulas síncronas, em que todas as discussões se desenvolvem com a mediação constante do professor, como aconteceu no caso desta pesquisa.

Considerações finais

O presente artigo teve como objetivo discutir sobre a estrutura de uma SEI sobre dilatação térmica e a sua aplicação, no formato virtual, a um grupo de alunos do 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública da Rede Federal de Ensino de uma cidade do Nordeste, no período da pandemia da Covid-19.

Consideramos que o artigo contribui para a reflexão sobre materiais didáticos que se voltam para o favorecimento da alfabetização científica, pelo viés do conceito de práticas epistêmicas, tendo em vista a discussão apresentada sobre o tema na

literatura. Discutimos, nessa perspectiva, o espaço que a SEI gera para o desenvolvimento de práticas epistêmicas escolares, as quais devem manter sua relação com as práticas epistêmicas desenvolvidas na ciência real. O artigo levanta também a discussão sobre o desenvolvimento de tais práticas em ambientes virtuais, o que se constitui em uma lacuna na produção acadêmica voltada a este conceito.

A configuração de práticas epistêmicas ocorre ao longo do tempo, com ações rotineiras e recorrentes. Em nossa pesquisa, foi possível perceber que a sequência de ensino aplicada oportunizou a criação de espaços propícios à ocorrência de práticas epistêmicas. Os alunos estiveram engajados em atividades investigativas, mesmo com a experimentação desenvolvida *on-line* de forma diferente da “tradicional”. Por meio das aulas on-line, em plataforma digital, foi possível o envolvimento dos alunos com a elaboração de hipóteses, construção de explicações, generalizações, discussão de resultados e argumentação. Nesse sentido, entendemos que foi possível instaurar a argumentação em torno do tema proposto, em suas diferentes dimensões, tendo em vista o envolvimento gradual dos alunos com o tema por meio de uma variedade de práticas epistêmicas. Essas propiciaram a apropriação de conceitos e elaboração de uma lógica de raciocínio científico por meio das intervenções do professor. Em vários momentos, também pudemos verificar como as práticas expressas no discurso dos alunos consistiram em elementos de um processo conjunto de construção de argumentos. Assim, foi possível verificar a possibilidade de instauração de práticas epistêmicas, que são decorrentes da interação social entre membros de um grupo.

Referências

ARAÚJO, A. O. **O uso do tempo e das práticas epistêmicas em aulas práticas de Química**. 2008. 144 f. (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, UFMG, 2008.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176–194, 2003.

BILLIG, M. **Arguing and thinking**: A rhetorical approach to social psychology. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

BRASIL. Ministério da Educação; Secretaria de Educação Básica; Conselho Nacional de Educação; Câmara de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

- CAVAGNETTO, A. R. Argument to foster scientific literacy: A review of argument interventions in K–12 science contexts. **Review of educational research**, v. 80, n. 3, p. 336-371, 2010.
- DUSCHL, R. A. Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals. **Review of Research in Education**, [s.l.], v. 32, n. 1, p. 268-291, 2008.
- EUROPEAN COMMISSION. Directorate-General for Research and Innovation. **Science education for responsible citizenship**: report to the European Commission of the expert group on science education. Publications Office. 2015.
- FREIRE, F. A. **Práticas epistêmicas na construção e justificação dos saberes pelos alunos**. 2021. 222 f. (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Sergipe, UFS, 2021.
- FREIRE, F. A.; SILVA, A. C. T.; BORGES, D. R. Práticas epistêmicas na construção e justificação dos saberes pelos alunos. **Scientia Plena**, v.10, n. 4(B), p.1-10, 2014.
- GARCIA-MILA, M. et al. The effect of argumentative task goal on the quality of argumentative discourse. **Science Education**, v. 97, n. 4, p. 497-523, 2013.
- GUNSTONE, R. 'Children's science': A decade of developments in constructivist views of science teaching and learning. **Australian Science Teachers Journal**, Geelong, v. 36, n. 4, p. 9-19, 1990.
- HODSON, D. Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. **International Journal of Science Education**. v.36, n.15, p. 2534-2553, 2014.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. *et al.* D. Epistemic practices: an analytical framework for science classrooms. *In*: ANNUAL MEETING OF AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH ASSOCIATION (AERA). New York, 2008. **Proceedings of AERA 2008**. New York: AERA, 2008.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; ERDURAN, S. Argumentation in science education: An overview. *In*: ERDURAN, S. M.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (ed.). **Argumentation in Science education**: Perspectives from classroom-based research. Dordrecht: Springer, 2007. p. 3-27.
- KELLY, G. J. Inquiry, activity and epistemic practice. *In*: **Inquiry Conference on Developing a Consensus Research Agenda**. New Brunswick, New Jersey, EUA, p. 16-18, 2005.
- KELLY, G. J. Scientific literacy, discourse, and epistemic practices. *In*: LINDER, C.; ÖSTMAN, L; ROBERTS, D. A.; WICKMAN, P.; ERIKSON, G.; McKINNON, A. (ed.). **Exploring the landscape of scientific literacy**. New York: Routledge, 2011. p. 61-73.

- KELLY, G. J. Discourse Practices in Science Learning and Teaching. *In*: LEDERMAN, N. G.; ABELL, S. K. (ed.). **Handbook of Research on Science Education**. New York: Routledge, 2014. v. 2, p. 321-336.
- KELLY, G. J.; LICONA, P. Epistemic Practices and Science Education. *In*: MATTHEWS, M. R. (Ed.). **History, Philosophy and Science Teaching: New Perspectives**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 139-165.
- MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. S. Ensino-aprendizagem de ciências e argumentação: discussões e questões atuais. 2013. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 1, 2013.
- MILLER, J. Scientific literacy: a conceptual and empirical review. **Daedalus**, [s.l.], v. 112, n.2, p. 29-48, 1983.
- MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.
- MORTIMER, E.F.; SCOTT, P. H. **Meaning Making in Secondary Science Classroom**. 1.ed. Maidenhead: Open University Press/McGraw Hill, 2003.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas**. Washington, DC: The National Academies Press. 2012.
- NASCIMENTO, E. D. O. **Práticas epistêmicas em atividades investigativas de Ciências**. 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - UFS, São Cristóvão, SE, 2015.
- NORRIS, S. P.; PHILLIPS, L. M.; BURNS, D. P. Conceptions of scientific literacy: Identifying and evaluating their programmatic elements. *In*: MATTHEWS, M. (ed.). **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, p. 1317–1344, 2014.
- OLIVEIRA, F. S.; CRUZ, M. C. P.; SILVA, A. C. T. Desenvolvimento da argumentação em uma sequência de ensino investigativa sobre termoeletrônica. **Química Nova na Escola**, São Paulo: SBQ, v. 42, n. 2, p. 186-201, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160200>. Acesso em: 10 out. 2022.
- OSBORNE, J. F.; PATTERSON, A. Scientific argument and explanation: A necessary distinction? **Science Education**, [s. l.], v. 95, n. 4, p. 627–638, 2011.
- PALMER, D. The POE in the primary school: An evaluation. **Research in Science Education**, v. 25, n. 3, p.323–332, 1995.
- PEDASTE, M. *et al.* Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational Research Review**, [s.l.], v. 14, p. 47-61, 2015.

SÄLJÖ, R. Literacy, Digital Literacy and Epistemic Practices: The Co-Evolution of Hybrid Minds and External Memory Systems. **Nordic Journal of Digital Literacy**. v. 7, n. 1, p. 519, 2012.

SANDOVAL, W. A. Understanding student's practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. **Science Education**, Abingdon, v. 89, n. 4, p. 634-656, 2005.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, p. 49–67, nov. 2015.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

SILVA, A.C.T. **Estratégias enunciativas em salas de aula de química:** contrastando professores de estilos diferentes. 2008. 476 f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, UFMG, Belo Horizonte, 2008.

SILVA, A. C. T. Interações discursivas e práticas epistêmicas em salas de aula de ciências. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, p. 69-96, 2015.

TOULMIN, S. **Os usos do argumento**. São Paulo: Contraponto, 2006.

EEMEREN, F. H.; GROOTENDORST, R. **A systematic theory of argumentation:** the pragma-dialectical approach. New York: Cambridge University Press, 2004.