

Modelização das linhas de campo magnético via uma abordagem experimental empírico-indutivista

Rosana Bulos Santiago^{1,*}

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma sequência didática (SD) que permite a modelização das linhas de campos magnéticos de corpos imantados a partir de um simples experimento empírico-indutivista. Para tal, a atividade foi elaborada sob a metodologia de ensino por investigação, tomando por base os pressupostos das teorias de aprendizagem de Vygotsky e de Piaget. Os estudantes, munidos de gaussímetros, foram estimulados a investigar as configurações das linhas de força de campo magnético, para então expressá-las em forma de desenho, antes da visualização via limalhas de ferro. Os resultados da SD apontam para construção e acomodação do novo conhecimento ao analisarmos esse desenho e, posteriormente, um outro desenho em resposta a uma avaliação formativa sobre a utilização de ímãs numa situação da vida real. Com isso, contorna-se o ensino baseado na centralidade da linguagem matemática, na oralidade ou no aligeiramento da visualização do campo via limalhas, dando lugar a uma construção do aprendizado por meio do desenvolvimento de processos cognitivos, semelhante ao método científico. A atividade foi aplicada junto aos alunos do curso de engenharia na disciplina experimental de Física III da UERJ.

Palavras-chave: campo magnético; atividade experimental; ensino por investigação

1. Introdução

O mundo moderno impõe a construção de infraestrutura para atender aos diferentes setores da sociedade, e por vezes podem ser gerados impactos ambientais, trazendo consequências sérias para a biosfera. Entender a natureza e os recursos naturais que compõem nosso planeta é essencial para que o homem se perceba como parte integrante desse grande sistema. Desse modo, o ensino de ciências tem como responsabilidade apresentar os conteúdos específicos que fazem parte dessa área de conhecimento, possibilitando que o estudante construa novos significados e novas estruturas cognitivas, ampliando sua linguagem, a fim de lhes garantir inclusão no debate de um projeto de desenvolvimento sustentável [1].

A utilização dos fundamentos eletromagnéticos e materiais magnéticos nas diversas situações do cotidiano já é uma realidade: cartão de banco, disco rígido de computador, fone de ouvido, detector de metais em portas, exame de ressonância magnética, trem por levitação magnética, entre outros. Novos equipamentos subsidiados pelos fenômenos magnéticos devem surgir em breve, como é o caso da pesquisa básica em compostos que apresentam o efeito magnetocalórico [2].

O conceito de campo - magnético, elétrico e gravitacional - é uma das noções fundamentais da física e foi sendo construído ao longo do século XIX, em substituição à ideia de ação a distância entre corpos para uma ação mediada, em que o campo

passou a ser visto como o agente de transmissão da força [3]. Entretanto, essas duas maneiras de entender as interações físicas constituem controvérsias que seguem até os dias atuais.

Segundo Da Silva e Krapas [4,5], a transposição didática aprofundou ainda mais essa confusão, como pode ser identificado em trechos de livros didáticos sobre o significado direto de campo, em enunciados de exercícios ou em conclusões de problemas específicos, refletindo as atribuições ora encontradas no passado e ora vistas na atualidade. Nesses materiais, encontram-se múltiplas atribuições ao termo campo: campo como região, campo como vetor, campo como responsável por alterar o espaço, campo como curvatura do espaço, campo como estocador de energia, campo interagindo com partículas, campo como suporte para propagação de energia e campo preenchendo o espaço. Aos olhos do aprendiz, tal pluralidade de significados atribuídos ao termo campo confunde mais do que esclarece. “Diante de tal grau de polissemia, resta ao estudante a aceitação do conceito de campo por argumento de autoridade” [4, p. 474]. Sendo assim, observamos que entender o conceito de

Entender a natureza e os recursos naturais que compõem nosso planeta é essencial para que o homem se perceba como parte integrante desse grande sistema

campo exclusivamente expresso pela oralidade nem sempre é possível. Por outro lado, sua compreensão por meio de formalismo matemático requer um maior grau de conhecimento e complexidade dessa ciência.

Desde os tempos de outrora, na busca de encontrar um caminho mais fácil para compreensão do “campo”, Faraday (1791-1867), por meio de um tra-

*Autor de correspondência. E-mail: rosanabulos@gmail.com.

balho sistemático, inovou de modo simples e preciso a ação mediada ao conjugar argumentos geométricos com o experimento das linhas de força¹ devido à presença de um corpo imantado. Essa maneira de descrever o campo era bem diferente do formalismo matemático com que se costumava apresentar esse fenômeno, na época, por isso não foi aceito com facilidade por parte de alguns cientistas [6]. Portanto, entender a configuração geométrica das linhas de campo magnético, seja dos corpos celestes ou de pequenos elementos imantados, é fundamental para a concepção e compreensão da importância do fenômeno, assim como seu uso nas possíveis aplicações tecnológicas.

Do ponto de vista de ensino, a construção do conhecimento da ciência física requer uma série de quesitos: apropriação de conceitos; aquisição da linguagem simbólica [7], atividades experimentais investigativas, desenvolvimento das habilidades e competências científicas, entre outras. A partir dessa premissa, elaboramos uma sequência didática (SD) apoiada na metodologia de ensino por investigação [7], tomando por base os pressupostos das teorias de aprendizagem de Vygotsky [8] e de Piaget [9], para ensino e aprendizagem do conceito e configurações dos campos magnéticos de corpos imantados. Para tal, utilizamos, na primeira parte da SD, um simples experimento empírico-indutivista com materiais de fácil aquisição: ímãs e gaussímetro, ou aplicativo para celular que simule o gaussímetro². O experimento estimulou os estudantes a investigar as configurações das linhas de força de campo magnético com o gaussímetro, para então interpretá-las em forma de desenho, antes da visualização via limalhas de ferro. O desenvolvimento da experiência é empírico-indutivista, pois parte da observação/investigação do fenômeno em repetidas investidas, seguindo em parte o *modus operandi* do

Entender a configuração geométrica das linhas de campo magnético, seja dos corpos celestes ou de pequenos elementos imantados, é fundamental para a concepção e compreensão da importância do fenômeno, assim como seu uso nas possíveis aplicações tecnológicas

fazer científico, uma vez que não recorre de pronto à visualização das linhas de campo magnético com limalhas de ferro. Na segunda parte da SD, aplicamos uma avaliação formativa tal que os alunos deveriam responder individual-

mente, por meio de desenho, a uma situação-problema da vida real, nesse caso, sem o uso do gaussímetro nem visualização com limalhas de ferro.

A SD foi aplicada presencialmente a uma turma de engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), na disciplina experimental de Física III, da qual a autora deste artigo era a professora regente. A análise de aprendizagem foi qualitativa, cujos dados foram os desenhos dos alunos das duas etapas da SD.

2. Ensino por investigação e referencial teórico

A compreensão de como se dá o processo de cognição do indivíduo e de como sistematizar o ensino-aprendizagem para que isso ocorra são objetos de pesquisa de vários autores ao longo da história. Na metodologia de ensino por investigação [7], os pressupostos de aprendizagem de Vygotsky [8] e Piaget [9] surgem naturalmente.

Para Piaget [9], as atividades propostas em sala de aula devem provocar “desequilíbrio”, ou seja, devem ser desafiadoras para o discente, sendo portanto de suma importância a escolha de um problema interessante e apropriado junto ao grupo com que o professor vai trabalhar, para que possa ocorrer o início da construção do conhecimento. Entretanto, para que exista a possibilidade de “reequilíbrio”- termo atribuído ao processo de acomodação do novo conhecimento -, é necessário que a situação-problema proposta seja alicerçada em conhecimento anterior pré-existente nos aprendizes. Por isso, é importante investigar o que eles já conhecem sobre o assunto ou sobre o conceito a ser trabalhado (esses conhecimentos são chamados prévios ou espontâneos). Além disso, o professor deve verificar se os estudantes de fato entendem as propostas a

O desenvolvimento da experiência é empírico-indutivista, pois parte da observação/investigação do fenômeno em repetidas investidas, seguindo em parte o *modus operandi* do fazer científico, uma vez que não recorre de pronto à visualização das linhas de campo magnético com limalhas de ferro

serem realizadas. Para Piaget, o aprendizado é construído pelo aluno e o conhecimento se dá por descobertas. Do problema proposto emerge o levantamento de hipóteses, a liberdade de escolha de caminhos para comprovação das hipóteses e, de preferência, para que esse processo seja possibilitado, deve-se trabalhar com ações físicas sobre objetos manipuláveis. No decorrer da atividade, as reflexões, as hipóteses e as estratégias iniciais vão

dando lugar à investigação, por meio de experimentos. Após algumas etapas de verificação, conceitos científicos vão se construindo e formando os esquemas piagetianos e, assim, a manipulação vai dando lugar à ação intelectual.

Segundo Vygotsky [8], o comportamento e a capacidade cognitiva de um determinado indivíduo dependem de sua história educativa, a qual tem relações com as características do grupo social e cultural em que ele se insere. Vygotsky ficou caracterizado como um teórico sociointeracionista, pois acreditava que, em parte, os mecanismos de aprendizagem são internalizados a partir da convivência entre as pessoas, o que possibilita o desenvolvimento das funções psicológicas superiores.

No ensino por investigação (EI), os aprendizes são dispostos em pequenos grupos para que possam interagir entre si, com o professor e com o material didático, a fim de resolver a situação-problema proposta. Para que a abordagem didática seja bem-sucedida, é necessário conhecer antecipadamente os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo que se deseja trabalhar. Normalmente, o EI segue uma sequência de etapas [7, p. 10] que norteia o processo investigativo. Entretanto, não há uma rigidez absoluta na conduta da abordagem didática; ela vai depender também da situação-problema. O professor inicia a aula apresentando o problema, distribuindo o material didático e explicando como utilizá-lo na atividade. As hipóteses dos alunos vão surgindo ao manipularem o experimento e debaterem suas ideias; o professor, nessa etapa, apenas supervisiona o entendimento do problema proposto, com pouca interferência no caminho que o grupo

propõe para resolução do desafio. Em seguida, vem a etapa de sistematização do conhecimento, uma vez que o experimento tenha sido concluído. Os grupos são então desfeitos e a turma como um todo participa da exposição dos resultados obtidos, relatando as dificuldades que por ventura tenham surgido durante o processo e como elas foram superadas. Nesse momento, o professor vai fazendo perguntas e ajudando os estudantes a verbalizar e analisar os resultados, colaborando assim para a organização das ideias e a ampliação do vocabulário científico deles. Cabe então estimulá-los a observar em quais outras situações o fundamento investigado está presente. Por fim, vem a etapa de registro individual do conhecimento construído de modo colaborativo, seja por meio de redações, relatórios, ou mesmo desenhos; a complexidade dessa avaliação-tarefa vai depender do nível de escolaridade da turma.

Nessa metodologia, também é possível observar que o desenvolvimento cognitivo e o repertório da linguagem do estudante se ampliam, em confirmação ao que Vygotsky caracterizou como zona de desenvolvimento proximal (ZDP), que é a distância que separa dois níveis de desenvolvimento cognitivo, o real e o potencial. O real é aquele estágio de desenvolvimento no qual o indivíduo pode realizar tarefas de maneira autônoma, enquanto o potencial relaciona-se com capacidades em vias de serem construídas pelo indivíduo, mas que demandam a ajuda de outras pessoas para concretizá-las [8].

Nessa simbiose, na metodologia de ensino por investigação, o aprendizado é facilitado por meio das interações sociais construídas por meio do diálogo e da colaboração, no que se refere à aprendizagem escolar, entre os elementos do grupo, entre professor-aluno e entre aluno-espaco escolar, aqui definido como aula experimental, tal como Carvalho [7] afirma:

A interação social não se define apenas pela comunicação entre o professor e o aluno, mas também pelo ambiente em que a comunicação ocorre, de modo que o aprendiz interage também com os problemas, os assuntos, a informação e os valores culturais dos próprios conteúdos com os quais estamos trabalhando em sala de aula. [7, p. 4]

A proposta do ensino por investigação é criar no espaço escolar/universitário um ambiente investigativo em aulas de ciências em que o estudante possa desenvolver gradativamente sua construção de conhecimento por meio de um fazer científico, investigativo e operacional, de maneira autônoma e própria da epistemologia da ciência moderna, trabalhando em grupo e sendo orientado pelo professor. Entretanto, o que se propuser como investigação deve ser algo simples; “não há expectativa de que os alunos vão se comportar como cientistas” [7], eles devem ser orientados por uma sequência de atividades bem planejada, que permita abranger um ou poucos tópicos da ementa curricular, como acontece nos trabalhos desenvolvidos por Faria e Vaz [10] e Dias e cols. [11].

Assim, os aprendizes aprendem por meio das suas próprias ações, resolvendo a situação-problema proposta, enquanto dominam os conteúdos específicos de ciências e aprendem, também, a fazer ciência [12]. Além desses aspectos, nessa dinâmica é possível observar o desenvolvimento de algumas habilidades científicas e habilidades sociointerativas presentes ao longo da atividade. Destacam-se as seguintes habilidades científicas: observação, escolha dos instrumentos, apropriação do vocabulário científico e aquisição de dados, e as seguintes habilidades sociointerativas: liderança, criatividade, empatia, ampliação da comunicação e responsabilidade, entre outras.

3. O campo magnético

O uso e o fascínio por ímãs remonta aos tempos da Grécia Antiga, quando pedras com a propriedade de atrair pedaços de ferro eram encontradas na cidade de Magnésia - por esse motivo, tal fenômeno foi batizado de magnetismo [13, p. 453]. A bússola, cuja invenção é atribuída aos chineses por volta do século XII, foi um dos primeiros instrumentos que fez uso do magnetismo para fins não lúdicos, tendo sido amplamente utilizada para orientação geográfica por embarcações náuticas. A partir dessa simples invenção - uma agulha imantada apoiada por um eixo

e livre para girar na horizontal - deu início à compreensão do planeta Terra como sendo um corpo celeste que apresenta características magnéticas semelhantes a um pequeno fragmento imantado encontrado em sua superfície. A agulha da bússola, atuando como um pequeno dipolo magnético, sente seu polo sul (norte) magnético sendo atraída pelo polo norte (sul) geomagnético. Esse fenômeno permitiu revelar ponto a ponto a direção das linhas do campo magnético do nosso planeta. Entretanto, a descoberta da intensidade do campo geomagnético nos diferentes locais do planeta somente ocorreu muito tempo mais tarde. A partir de 1838, com os estudos sistemáticos de Gauss [14], concluiu-se que 95% da intensidade desse campo provém do interior da Terra e somente uma pequena parte se origina de fontes externas.

O conceito de campo é fundamental na ciência física, seja ele de qualquer natureza - gravitacional, elétrico, magnético, entre outros. Entretanto, não é fácil de ser ensinado, tampouco de ser aprendido. Historicamente, o conceito de campo foi assunto de longos debates sobre a sua natureza [3]. A discussão sobre a sua existência nasce a partir da necessidade de se interpretar a interação e a transmissão de força entre corpos sem contato aparente. Rocha [3] defende que, em âmbito de ensino formal, uma abordagem histórico-conceitual do campo permitiria um caminho enriquecedor de apropriação de significado frente à ênfase dada aos modelos matemáticos. Entretanto, a controvérsia da ação mediada por um campo ou ação à distância da força implica na imprecisão de seu significado ainda hoje. Segundo Kapras e Da Silva [5],

...levantamos a suspeita de que uma das razões das dificuldades dos estudantes para a aprendizagem do conceito de campo reside em seu caráter polissêmico, que pode ser creditado a suas origens na história da ciência - encontrada no reduto da citada controvérsia - como também a uma certa “contaminação” do sen-

Na metodologia de ensino por investigação, o aprendizado é facilitado por meio das interações sociais construídas por meio do diálogo e da colaboração, no que se refere à aprendizagem escolar, entre os elementos do grupo, entre professor-aluno e entre aluno-espaco escolar, aqui definido como aula experimental

tido “relativístico” sobre o sentido “clássico” de campo. [5, p. 2]

Para fins do trabalho ora apresentado, o ensino-aprendizagem do signo de campo foi construído por meio da ideia genuína de linhas de força, atualmente chamadas de linhas de campo, do físico e químico Michael Faraday (1791-1867);

Faraday passou a visualizar as forças magnéticas e elétricas como uma espécie de tubos que se estendiam no espaço a partir de ímãs ou de corpos eletrizados e que podiam ser distorcidos, as quais ele denominou linhas de força. [3, p. 1606]

A experiência mais usual, em âmbito de aprendizagem escolar e universitária, a fim de demonstrar a existência das linhas de força de campo magnético, é aquela na qual são jogadas aleatoriamente limalhas de ferro numa folha de papel colocada sobre um ímã e essas limalhas naturalmente se organizam em linhas. Ao apresentar esse fenômeno, normalmente os professores manipulam o material que compõe o experimento; os alunos observam o fenômeno e logo em seguida o processo experimental se encerra. Nos livros de ciências do ensino fundamental e médio, fotografias dessa experiência são costumemente apresentadas em confirmação da existência do campo magnético. Entretanto, esse ‘aligeiramento’ didático não propicia o surgimento das

etapas necessárias para o desenvolvimento do pensamento lógico e indutivo, diferentemente da construção de esquemas segundo a teoria de Piaget [9]. A construção mental abstrata no processo de investigação sobrepõe-se à mera observação do fenômeno. Sendo assim, os experimentos devem promover a participação ativa dos estudantes, juntamente a um processo de desenvolvimento mental abstrato, mediado pela manipulação dos instrumentos, que dará origem à ‘modelização’. Outro item que não pode faltar são os debates his-

É por meio do processo investigativo, a partir da medição da intensidade do campo magnético em diferentes posições do espaço em torno do ímã e do conceito matemático de fluxo, que as hipóteses dos aprendizes sobre a provável configuração das linhas de campo vão surgindo e, por conseguinte, dando lugar aos “esquemas piagetianos”

tóricos sobre o conceito de campo, seja ele magnético, elétrico ou gravitacional; são de especial relevância para o entendimento do seu significado [3] e devem ser elucidados na introdução da prática.

4. Apresentação do produto

4.1. Descrição do experimento e a sequência didática

Neste tópico vamos apresentar o produto educacional elaborado, que é composto por uma sequência didática (SD) que foi aplicada em duas aulas, totalizando 90 min, cujo processo inclui o experimento. Basicamente, os itens que compõem o material da experiência são peças imantadas³ em vários formatos, gaussímetro e limalhas de ferro. Na nossa prática, usamos um gaussímetro portátil, leve e pequeno, modelo *Gaussímetro MGP-2000* (Fig. 1), que funciona com pilhas ou na rede elétrica. O manejo desse equipamento é simples: após ligar on/off, segura-se a ponteira (com o lado que tem um ponto vermelho virado pra cima) na posição do espaço ou sobre o ímã cuja intensidade do campo magnético se deseja conhecer. A intensidade do campo é apresentada no visor em Gauss, cuja unidade é equivalente à 10^{-4} Tesla. Apertando o botão N/S, o visor passa a apresentar se a posição investigada refere-se ao polo sul ou norte. Existem aplicativos para celular Android que simulam gaussímetro e bússola, como *Gaussímetro da keuwlsoft*, *GTSOFT*, *Mobilia Apps*, entre outros, mas eles demandam alinhamento inicial e têm alguns pré-requisitos quanto às características do celular para sua boa funcionalidade. Em nossa prática, não sistematizamos as observações via aplicativo por-

que tínhamos gaussímetros para todos os grupos.

A situação-problema proposta na primeira parte da SD foi que os aprendizes desenhassem a configuração das



Figura 1 - Gaussímetro portátil.

linhas de campo magnético de um ímã a partir da investigação experimental com o gaussímetro. Vale frisar que, nessa didática e durante a aula, nenhum aluno pôde observar as linhas de campo via limalhas ferro antes de produzir seu desenho construído a partir da investigação com o gaussímetro.

Embora a proposta experimental seja simples, do ponto de vista de manejo com o gaussímetro, ela é elaborada no que diz respeito à construção de modelos mentais para sistematização das observações. É por meio do processo investigativo, a partir da medição da intensidade do campo magnético em diferentes posições do espaço em torno do ímã e do conceito matemático de fluxo, que as hipóteses dos aprendizes sobre a provável configuração das linhas de campo vão surgindo e, por conseguinte, dando lugar aos “esquemas piagetianos” [9] para solucionar o desafio proposto. O conhecimento do conceito matemático de fluxo diz que a intensidade do campo magnético em cada ponto do espaço está associada ao número de linhas de força que atravessam a unidade de área nesse ponto. Assim, a intensidade de um polo magnético é medida pelo número de linhas que saem ou en-

Tabela 1: Descrição das etapas da metodologia, duração, referenciais teóricos e breve descrição de como as aulas ocorreram.

Etapas e duração	Descrição da didática	RT
Etapa 1 (15 min)	Investigando os conhecimentos prévios dos alunos: esse momento precedeu a experiência. Dei início à aula com uma conversa informal com os alunos, com a intenção de investigar o que eles sabiam sobre materiais magnéticos, força magnética, campo magnético e o conceito matemático de fluxo. Relatei um pouco da história da ciência sobre a necessidade do conceito de campo para interpretar a interação de força entre corpos sem contato, em substituição à ação a distância, além da histórica controvérsia dessa temática.	Piaget
Etapa 2 (10 min)	Apresentando o material: dividi a turma em 7 duplas de alunos para trabalharem nas bancadas planas. Mostrei os materiais que seriam utilizados na experiência: ímãs, gaussímetro e limalhas de ferro ⁴ . Expliquei para que servem e como utilizá-los durante o experimento.	Vygotsky e o socio-interacionismo
Etapa 3 (15 min)	A situação problema: “Desenhar a configuração das linhas de campo magnético de um ímã a partir da investigação experimental com o gaussímetro”. Nesse momento, foi necessário relembrar o conceito matemático de fluxo, a não existência de monopolo magnético (todas as linhas de campo saem e entram em algum ponto da peça) e que essas linhas nunca se cruzam. Alertei que a investigação com a ponteira do gaussímetro deve percorrer toda a peça calmamente, para maior percepção dos valores das intensidades, inclusive em regiões um pouco afastadas da peça.	Segundo Piaget, nessa etapa propusemos uma situação-problema que gerasse ‘desequilíbrio’ nos alunos.
Etapa 4 (20 min)	Discussão em grupo e desenhos: de forma livre, os aprendizes foram elaborando suas hipóteses e iniciaram a investigação experimental. Momento rico de interação entre eles; debateram sobre o fenômeno e como iriam construir o desenho, a fim de obter o resultado desejado. Observei que alguns poucos alunos tiveram dificuldade em desenhar a peça em perspectiva e optaram por não o fazer. Outros, inicialmente, acharam que não conseguiriam montar o registro de forma correta, sentiram-se incomodados por não terem um roteiro para seguir. Contudo, à medida que foram analisando as intensidades, o norte e sul magnético das diversas regiões do espaço em torno do ímã, em idas e vindas, conseguiram de algum modo representar as linhas de campo no papel. Acompanhei o desenvolvimento da prática, dando assistência apenas quando me solicitavam.	Estando os alunos dentro da ZDP, eles vão interagindo entre si, com o experimento e com o professor; por meio das sucessivas interações, o novo conhecimento vai se formando.
Etapa 5 (10 min)	Comprovação da análise experimental: após o término do desenho, os alunos colocaram um papel branco sobre a peça imantada, bem justo a ela, e jogaram livremente as limalhas de ferro sobre o papel. Compararam visualmente as estruturas tridimensionais obtidas com as limalhas com o desenho das linhas de campo magnético de cada peça. Sugeri que colocassem o desenho ao lado do ímã com as limalhas e tirassem fotos, para melhor percepção da configuração. Foi nessa etapa que os alunos apresentaram maior entusiasmo, não somente por terem suas expectativas atendidas na comprovação da configuração das linhas de campo, mas também, devido à grande beleza das “esculturas artísticas” surgidas com as limalhas. Nessa etapa, eles mesmos puderam avaliar seus acertos e erros pela comparação visual do desenho com as linhas feitas com as limalhas.	Nesta etapa, segundo Piaget, é onde ocorre a reequilibração.
Etapa 6 (10 min)	Discussão com todos juntos: nesse momento, todos os desenhos e suas respectivas peças com as limalhas foram disponibilizados, de modo que todos pudessem apreciar o resultado da atividade e conhecer as formas das linhas de campo de todos os ímãs. Estimulei os grupos a relatar como conseguiram encontrar a configuração apropriada, as premissas utilizadas e as dificuldades enfrentadas ao longo do processo. Tentei auxiliá-los na narrativa, em vista da ampliação do vocabulário científico, na apropriação do conceito de magnetização e de linhas de força de campo magnético.	Vygotsky e socialização.
Etapa 7 (10 min)	Generalizando a temática: o objetivo dessa etapa era saber se os estudantes ‘acomodaram’ o conceito das linhas de campo magnético, construindo uma aprendizagem significativa. Foi então aplicada uma avaliação formativa que trazia uma situação-problema sobre utilização de ímãs numa situação da vida real: trem por levitação magnética.	

tram nele: quanto maior o número de linhas em um certo ponto, mais intenso será o campo magnético aí. O professor também pode fazer analogia desse conceito com situações do cotidiano, como o fluxo de água através de uma man-

gueira ou por um cano, ou o fluxo de ar de um secador de cabelo, entre outros.

Após ficarem prontos os desenhos elaborados com ajuda do gaussímetro, limalhas de ferro são lançadas livremente sobre o ímã para formar natural-

mente as linhas de campo. Por simples observação visual, compara-se o quanto o desenho se parece com a configuração formada pelas limalhas de ferro. Assim, os próprios alunos também podem analisar seus erros e acertos nos

desenhos. Na segunda parte da SD, após o término da experiência, na perspectiva de investigar se ocorreu aprendizagem significativa, solicitamos outro desenho que representasse a configuração do campo magnético entre o trem e o trilho do protótipo do trem Maglev por levitação magnética desenvolvido na COPPE-UFRJ.

A Tabela 1 dá uma breve descrição das etapas e de como foi a aula durante a aplicação do produto e indica quais conceitos dos referenciais teóricos (RT) estão presentes em cada etapa e a duração dessas etapas.

4.2. Análise de dados

A análise da aprendizagem da parte experimental é de cunho essencialmente qualitativo; por meio de observação visual, a partir da comparação direta entre o desenho construído via gaussímetro e a configuração formada pelas linhas de limalhas de ferro, buscando semelhanças e diferenças. Os dados utilizados foram todos os desenhos dos grupos de estudantes da disciplina de Física III da Engenharia da UERJ que participaram da atividade. A professora que aplicou esse produto era regente dessa turma desde o início do semestre.

A Fig. 2a mostra uma peça imantada grande em formato irregular, cuja parte superior não é simétrica com relação à base inferior. A Fig. 2b mostra as linhas de campo magnético produzidas com limalhas de ferro; observe que, para melhor visualização, a peça foi previamente embrulhada em papel branco. Apresentamos três desenhos de grupos de estudantes distintos nas Figs. 2c, 2d e 2e, resultantes da investigação experimental sobre a configuração do campo da peça da Fig. 2a.

Quando comparamos visualmente o desenho da Fig. 2c com a Fig. 2b, observamos as seguintes similaridades: o desenho apresenta uma visão tridimensional (3D) tanto da peça como das linhas; suas linhas são representadas saindo e entrando pela região lateral da peça; há registros de linhas na parte superior e no meio do desenho, da mesma maneira que as limalhas se orientam na Fig. 2b. Outro aspecto interessante foi o cuidado que os alunos tiveram em não desenhar cruzamento entre as linhas. Destaca-se também o entendimento correto dos investigadores sobre a natureza do polo para essa peça, sendo que este não se limita apenas a um único ponto, mas é uma região, aspecto

semelhante às linhas obtidas com as limalhas na Fig. 2b. Ainda no desenho, observa-se que o critério de fluxo foi atendido ao se verificar um maior número de linhas por unidade de área em região próxima à peça, refletindo a maior intensidade do campo aí em contraposição a maiores distâncias. Talvez esse aspecto seja o mais difícil de ser visualizado nas linhas com limalhas, justamente por elas não se sustentarem a alturas maiores, devido ao seu peso.

O segundo grupo também fez o desenho (Fig. 2d) em perspectiva, em que a configuração das linhas se mostra semelhante a um dipolo magnético. Entretanto, essa interpretação está parcialmente correta, pois, ao compararmos com a imagem da Fig. 2b, notamos que existem duas regiões largas onde as linhas com limalhas convergem, não se restringindo apenas a dois pontos como nesse desenho. Entretanto, observa-se que os alunos perceberam a presença do campo nas laterais e no meio da peça, ao representarem as linhas nessas regiões.

Já o desenho da Fig. 2e não apresenta muitos detalhes em termos de representação gráfica, porque evidencia uma visão da peça e linhas em duas di-

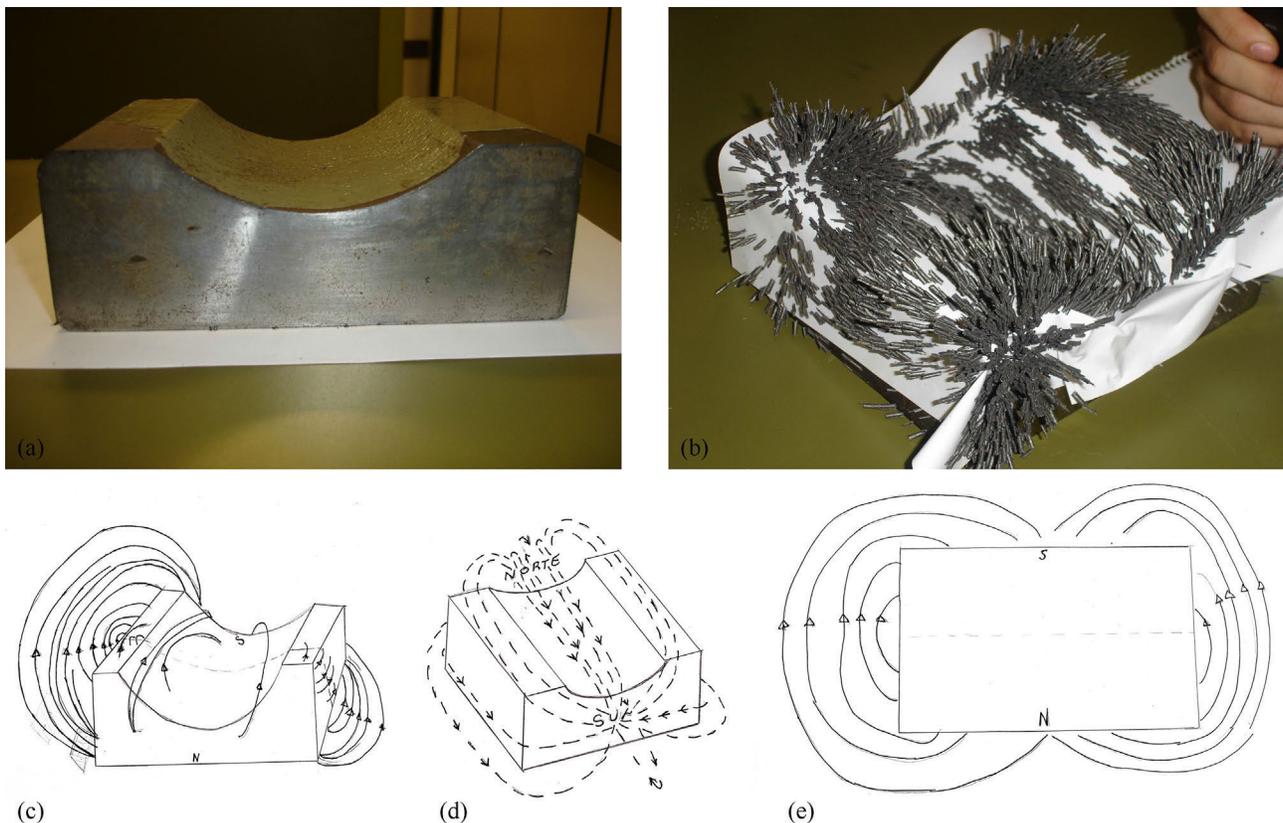


Figura 2 - a) Peça imantada; b) linhas de campo magnético obtidas com as limalhas de ferro; c), d), e) desenhos das linhas de campo magnético.

mensões, e aponta os polos norte e sul, registrando as linhas de campo apenas pelas laterais, embora seja possível perceber que as linhas se dirigem para vários pontos no topo e borda da peça, simulando essas regiões como largos “polos” norte e sul, assim como as limalhas formam na Fig. 2b.

A segunda peça ofertada apresentava formato de rosca, veja a Fig. 3a. As Figs. 3b e 3c mostramos desenhos confeccionados por dois grupos, enquanto a Fig. 3d apresenta as linhas de campo formadas por limalhas sobre essa peça.

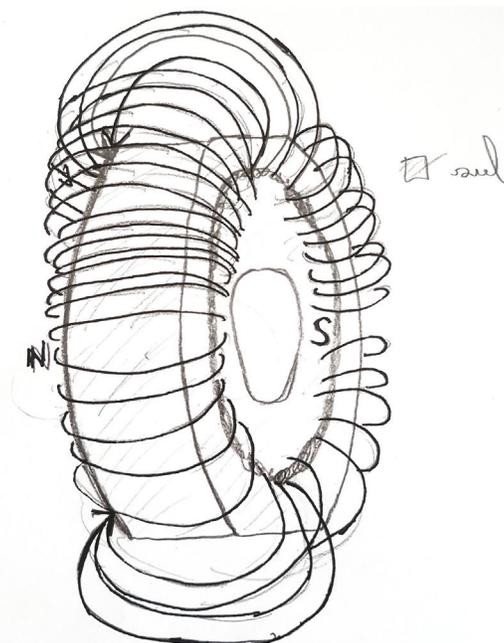
Ao compararmos o desenho da Fig. 3b com a Fig. 3d, as linhas desenhadas englobam toda aborda externa da peça, saindo do lado identificado como norte e dirigindo-se para o outro lado (sul), de modo semelhante às linhas formadas por limalhas; entretanto, o grupo não registrou linhas entrando na face interna da rosca, como a Fig. 3d sugere. O desenho acerta ao não registrar nenhuma presença de campo resultante no meio do buraco da peça. O grupo que formulou o desenho da Fig. 3c representou de forma não suficiente a

configuração do campo magnético para esse ímã, colocou apenas poucas linhas curvas de um lado da peça ao outro e deram ênfase à identificação das regiões onde estavam os polos norte e sul, inclusive definindo uma linha de inversão de polaridade, como se observa na investigação com o gaussímetro.

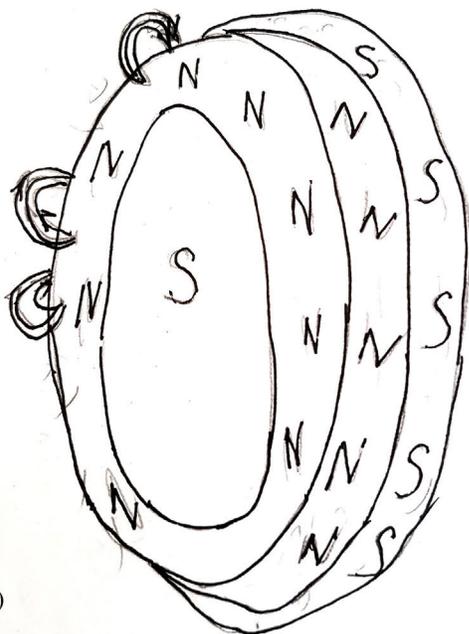
A terceira peça consiste em uma junção de ímãs concêntricos colocados com polaridades invertidas. As Figs. 4a, 4b e 4c apresentam a peça original, o desenho das linhas de campo magnético e as linhas de campo obtidas com as



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3 - a) Peça imantada em forma de rosca; b) e c) desenhos das linhas de campo magnético para a peça, d) linhas de campo magnético obtidas com as limalhas de ferro.

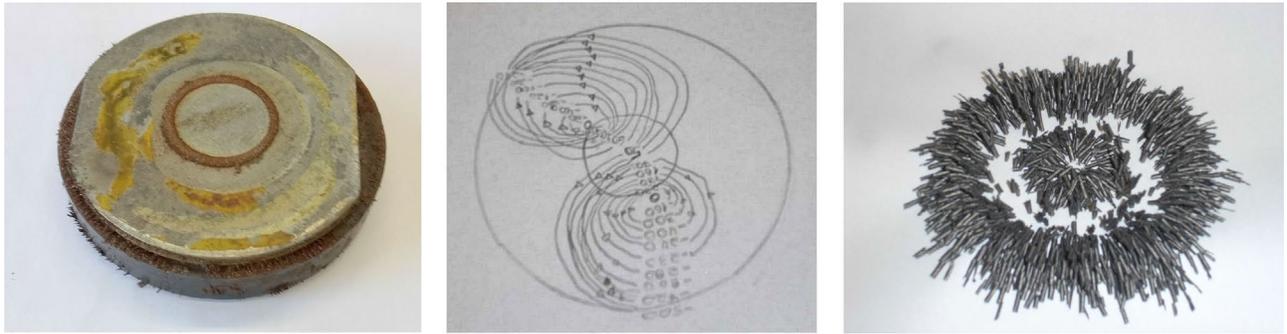


Figura 4 - a) Peça imantada, b) desenho das linhas de campo magnético, c) linhas de campo magnético obtidas com as limalhas de ferro.

limalhas de ferro, respectivamente.

Esse grupo de estudantes tentou representar as linhas de campo como se fossem superfícies de níveis, nas quais registraram com números os valores de intensidade do campo magnético associados. No entanto, essa representação gráfica não está em conformidade com o formato das linhas de campo apresentadas pela Fig. 4c. As limalhas da Fig. 4c concentram-se no centro e nas bordas em direção radial, separadas por um intervalo sem nenhuma formação de linhas, o que significa que nesse intervalo o campo magnético resultante é nulo. Observando as linhas de limalhas da borda mais externa, é fácil perceber que elas se dirigem para o lado de baixo da peça. O desenho da Fig. 4b não corresponde à configuração correta; talvez a complexidade da arquitetura da peça tenha feito com que esses estudantes não percebessem a região onde o campo se anulava, nem tampouco onde os polos se situavam.

O último corpo investigado foi o eletroímã formado por uma bobina ligada em série a uma fonte com volta-

gem contínua. Como pode ser visto na Fig. 5a, a configuração do campo magnético apresentado pelas limalhas de ferro tem formato dipolar, em que as linhas de campo saem e entram pelas extremidades e se alinham sobre as espiras da bobina. Deve-se ressaltar que as limalhas possuem massa considerável, e num certo momento o campo gravitacional torna-se superior ao magnético criado pelo eletroímã; logo, interrompe a construção da linha feita com limalhas, embora ela exista, já que o valor do campo magnético é medido com gaussímetro nas regiões do espaço em torno da peça.

A Fig. 5b representa o desenho construído por um grupo de alunos ao investigarem o formato do campo com o gaussímetro. Ao compararmos esse desenho com a imagem ao lado (Fig. 5a), observamos grande semelhança na representação geométrica das linhas ao longo do corpo da bobina. Embora correto, o desenho limitou-se a apresentar as linhas contínuas entrando por um polo e saindo pelo outro.

Ao final dessa primeira parte da SD,

reunimos a turma numa roda de conversa, quando alguns alunos relataram dificuldade em desenhar em perspectiva, o que prejudicou o resultado do registro. Disseram que se sentiram inseguros quanto à acurácia do desenho frente ao resultado correto, mas acharam a dinâmica da investigação interessante e gostaram de manusear o gaussímetro.

Na perspectiva de investigar se houve aprendizagem significativa por parte dos aprendizes, na etapa 7 aplicamos uma avaliação formativa tal que os alunos deveriam responder individualmente, por meio de desenho, uma situação-problema da vida real. Entretanto, dessa vez não haveria a investigação prévia experimental. A seguir, expomos a questão: “O trem Maglev Cobra utiliza a levitação magnética. Ainda em fase de teste, foi desenvolvido na UFRJ-COPPE. O trem flutua sobre o trilho imantado que facilita seu deslocamento por conta do pouco atrito. Tanto a base do trem quanto o trilho geram campos magnéticos para que fiquem afastados um do outro. Atualmente, a velocidade

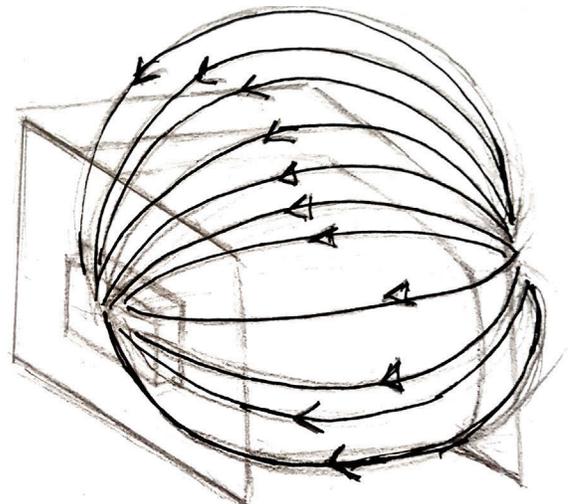


Figura 5 - a) Linhas de campo magnético de um eletroímã obtidas com as limalhas de ferro, b) desenho das linhas de campo.

média do trem está entre 70 e 100 km/h. Com base no que você aprendeu na experiência de investigação sobre o campo magnético de um ímã com o uso do gaussímetro, desenhe a suposta configuração que as linhas de campo magnético devem ter entre a base e o trilho. Indique os polos norte e sul magnéticos”.

Na Fig. 6, apresentamos dois desenhos corretos apresentados como resposta a tal situação-problema. A escolha por esses desenhos deu-se em função da perspectiva gráfica representada neles: o primeiro apresenta uma imagem frontal do trilho e do trem (Fig. 6a) e o outro, uma visão lateral (Fig. 6b).

Na Fig. 6a, o estudante desenhou um ímã preso a cada parte da engrenagem, mas em posições opostas no que diz respeito à orientação dos polos norte e sul, de tal forma que a soma vetorial das linhas de campo de ambos ímãs se anulam na região central, já que estão em sentidos opostos. Tal configuração produz repulsão magnética entre o trilho e o trem, permitindo a levitação magnética.

A Fig. 6b apresenta vários ímãs colocados em sequência, com polaridades opostas, sugerindo uma vista lateral do perfil do trem e do perfil do trilho. As respectivas linhas de campo são apresentadas apropriadamente, saindo do polo norte e entrando no polo sul, de modo a se anularem na região entre o trem e o trilho. Esse efeito somente foi possível devido aos ímãs das extremidades da mesma sequência terminarem com polaridades opostas, e em contraposição entre a parte superior e a inferior.

A maioria dos desenhos foram semelhantes a esses dois exemplos; alguns poucos alunos não responderam à

questão. Por esse motivo, foi possível perceber que a atividade experimental inicial teve ação propositiva, pois possibilitou o desenvolvimento da abstração e da cognição dos esquemas piagetianos, cujas observações levaram à construção mental de padrões de comportamento das linhas de campo magnético e, por conseguinte, a sistematização do conhecimento foi aplicada a uma nova situação.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou uma sequência didática desenvolvida sob a metodologia do ensino por investigação, norteadas pelas teorias de aprendizagem de Vygotsky e Piaget. Por meio de uma investigação ativa e participativa, os estudantes, em pequenos grupos, fizeram uso do gaussímetro para identificar a direção e a intensidade do campo magnético de um ímã nos diversos pontos do espaço. A partir dessas informações e do conceito matemático de fluxo, construíram desenhos para representar a suposta configuração das suas linhas de campo.

Os resultados da aprendizagem apontam para a acomodação do novo conhecimento, porque foi possível perceber, pela comparação visual do desenho com a configuração das linhas via limalhas, semelhanças no que se refere à representação simbólica dessas duas manei-

ras de evidenciar a presença do campo magnético. Por meio da avaliação formativa, observou-se que os conhecimentos construídos ao longo do processo foram mobilizados para uma nova situação, trazendo registros pertinentes como resposta da questão.

Desse modo, proporcionou-se, mediante uma experiência empírico-indutivista, o desenvolvimento da abstração mental para a construção do conceito das linhas de campo, em substituição à árdua aprendizagem por meio da matematização ou da ineficaz explicação oral do conceito. Embora aqui não tenham sido relatadas as falas dos alunos ao longo da dinâmica, observou-se que eles ampliaram seu vocabulário científico ao explicar pequenos detalhes da atividade, a fim de resolver a situação experimental. Além disso, percebeu-se que a metodologia adotada permitiu o desenvolvimento de habilidades experimentais, assim como as sociointerativas: ampliação da capacidade comunicativa entre os indivíduos do grupo, exercício da criatividade nas investidas da resolução do problema e responsabilidade em cumprir a tarefa.

Embora essa SD tenha sido aplicada a uma turma de nível superior, ela também é aplicável a jovens do Ensino Médio e do 9º ano do fundamental, já que não requer nenhuma habilidade laboratorial prévia por parte do aluno. No entanto, cabe ao

Foi possível perceber que a atividade experimental inicial teve ação propositiva, pois possibilitou o desenvolvimento da abstração e da cognição dos esquemas piagetianos, cujas observações levaram à construção mental de padrões de comportamento das linhas de campo magnético e, por conseguinte, a sistematização do conhecimento foi aplicada a uma nova situação

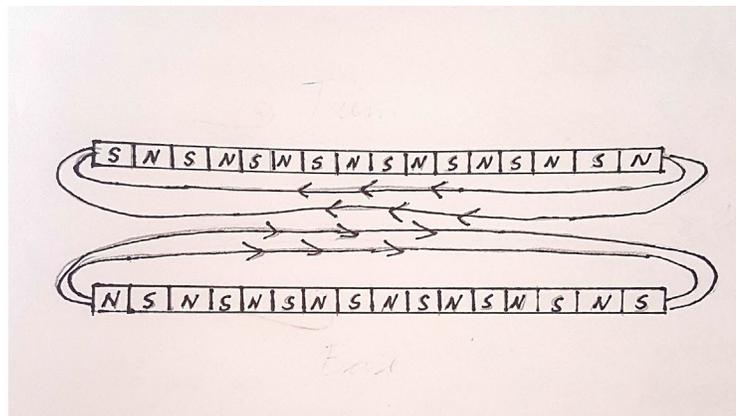
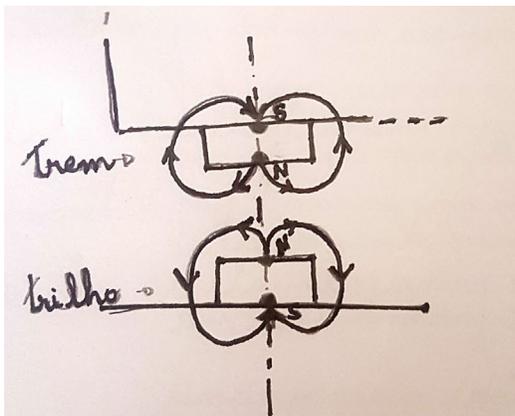


Figura 6 - Desenhos dos estudantes representando o campo magnético entre o trilho e o vagão de trem; a) visão frontal, b) visão lateral.

professor da educação básica avaliar a possibilidade de sua realização, pois é sabido que muitas escolas têm poucos incentivos para atividades dessa natureza. É inclusive de suma importância que os jovens, desde o ensino básico,

entrem em contato com práticas que incentivem a abstração mental via experimentos, estimulando-os a terem postura reflexiva e crítica sobre o conteúdo didático. Contudo, isso somente será possível se a proposta da atividade os

tornar protagonistas de suas aprendizagens.

Recebido em: 11 de Agosto de 2021
Aceito em: 10 de Janeiro de 2022

Notas

¹A força elétrica tem a mesma direção das linhas de força do campo elétrico, mas isso não é verdade para o campo magnético. Entretanto, o nome de linhas de força para representação de um campo de qualquer natureza ficou cunhado desde o trabalho genuíno de Faraday.

²Gaussímetro é um instrumento que mede a intensidade e a direção, norte ou sul, do campo magnético local. Atualmente, existem muitos aplicativos para celulares com essa função.

³Não sabemos a origem das peças imantadas utilizadas no experimento; elas foram encontradas aleatoriamente.

⁴As limalhas de ferro utilizadas tinham formato cilíndrico, com comprimento entre 4 mm e 5 mm.

Referências

- [1] B. Braga, I. Hespanhol, J.G. Conejo, J.C. Mierzwa, M.T. Barros, M. Spencer, M. Porto, N. Nucci, N. Juliano, S. Eiger, *Introdução a Engenharia Ambiental: O Desafio do Desenvolvimento Sustentável* (Pearson Education, São Paulo, 2009), 2^a ed.
- [2] P. Von Ranke, *Ciência Hoje* **26**, 36 (1999).
- [3] J.F.M. Rocha, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **31**, 1604 (2009).
- [4] M.C. Da Silva, S. Krapas, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 471 (2007).
- [5] S. Krapas, M.C. Da Silva, *Ciência & Educação* **14**, 15 (2008).
- [6] A.C. Tort, A.M. Cunha, A.K.T. Assis, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 273 (2004).
- [7] A.M.P. Carvalho, O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas, in: A.M.P. Carvalho (org.), *O Ensino de Ciências por Investigação* (Cengage Learning Edições Ltda., São Paulo, 2014), p. 1-20.
- [8] M.K. Oliveira, *Vygotsky: Aprendizagem e Desenvolvimento. Um Processo Sócio-Histórico* (Editora Scipione, São Paulo, 2003), 4^a ed.
- [9] L. Ferracioli, *Revista Brasileira Est. Pedagogia* **80**, 5 (1999).
- [10] A.F. Faria, A.M. Vaz, *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* **21**, 1(2019).
- [11] M.A. Dias, D.M. Vianna, P.S. Carvalho, *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* **20**, 1 (2018).
- [12] L. Brito, E. Fireman, *Experiências em Ensino de Ciências* **13**, 462(2018).
- [13] P.G. Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman Editora Ltda., Porto Alegre, 2019), 12^a ed.
- [14] W. Texeira, M.C. Toledo, T. Fairchild, F. Taioli, *Decifrando a Terra* (Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2003), 2^a ed.