

A INFLUÊNCIA DE UMA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO APRENDIZADO DA FORÇA DE LORENTZ

THE INFLUENCE OF A COMPUTATIONAL SIMULATION IN THE LEARNING OF LORENTZ'S FORCE

Fernando Colomby Pieper*

ULBRA – Canoas – RS – Brasil

Resumo: Neste artigo buscamos investigar a modificação nos *drivers*¹ de alunos de Licenciatura em Física após a utilização de simulações computacionais sobre a Força de Lorentz, visando o aprendizado conceitual deste tópico em Eletromagnetismo. Para tanto, utilizamos o aporte teórico da Teoria da Mediação Cognitiva de Souza (2004) que considera que o aprendizado ocorre predominantemente pela mediação de estruturas externas, consideradas pelo cérebro como “ferramentas de processamento extracerebral”. Para este estudo utilizamos análises verbal e gestual como indicadores de imagens mentais empregadas pelos alunos durante suas explicações. Os resultados indicam que as representações mentais de conceitos associados à Força de Lorentz sofreram uma evolução, com modificações dos *drivers* devido às mediações hiperculturais relacionadas à Simulação Computacional que foi realizada.

Palavras-chave: Simulações Computacionais. Mediação Cognitiva. Hipercultura. Força de Lorentz.

Abstract: In this article we search to investigate the change in *drivers*² of Physics Education Undergraduate Students after the use of computational simulations about Lorentz Force, aiming at the conceptual learning of this topic in Electromagnetism. In order to do so, we use the theoretical contribution of the Cognitive Mediation Theory of Souza (2004), who considers that learning predominantly occurs through the mediation of external structures considered by the brain as "tools for extracerebral processing". For this study we used verbal and gestural analysis as indicators of mental images used by students during their explanations. The results appoint that the mental representations of concepts associated with the Lorentz Force underwent an evolution, with modifications on the *drivers* due to the hypercultural mediations related to the Computational Simulation that was performed.

Keywords: Computational Simulations. Cognitive Mediation. Hyperculture. Lorentz Force.

* fernandopieper@gmail.com

¹ Esta é a palavra utilizada para integrar o processamento de informação feito pelo cérebro com o processamento executado por um mecanismo externo.

² This is the word used to integrate the processing of information made by the brain with the processing performed by an external mechanism.

1. Introdução

Historicamente assuntos relacionados a conceitos físicos são de difícil compreensão por parte dos estudantes, e, mesmo diante de inúmeros resultados positivos, algumas pesquisas têm indicado que é comum um sentimento de fracasso e desinteresse por parte de alunos com relação a assuntos de Física (ESQUEMBRE, 2002). Diante disso, podemos encontrar pesquisadores que têm se proposto a estudar diferentes estratégias que visam a melhorar a relação de ensino-aprendizagem nessa área (VITAL e GUERRA, 2014; BRUSCATO e MORS, 2014).

Porém diante do desenvolvimento da tecnologia, ocorreu uma inovação nos métodos de experimentação dos conteúdos de Física em sala de aula e temos os que, diante desta tentativa de auxiliar o entendimento por parte dos alunos de assuntos relacionados à Física, defendem o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). As TIC's também são a sugestão de alguns pesquisadores e têm sido cada vez mais objeto de pesquisa para este fim, basta realizar uma busca em revistas de ensino de Física como o Caderno Brasileiro de Ensino de Física¹, a Revista Brasileira de ensino de Física² ou no site Google Acadêmico³.

Dentro das TIC's podemos citar o uso de Simulações Computacionais que é apontado por diversos autores como um importante instrumento para o ensino de Física, tendo uma boa aceitação entre pesquisadores (SOUZA FILHO, 2010; MACÊDO et al, 2014). Podemos destacar que, entre os fatores indicados pelos pesquisadores, destaca-se o de que a utilização de simulações possui vantagens devido aos recursos gráficos, às animações que podem ser implementadas, à manipulação de dados e variáveis pelos estudantes, o que torna a simulação de grande valor pedagógico para a investigação de determinados fenômenos científicos difíceis de serem visualizados, como os fenômenos eletromagnéticos.

Atualmente dispomos de diversos programas que facilitam as demonstrações de fenômenos físicos, ampliando a compreensão e aprendizagem; há autores entusiasmados na utilização destes, e outros pedindo uma certa cautela na sua utilização (BARBOSA et al, 2017). Por isso, não é objetivo desse estudo determinar ou defender a utilização das TIC's por si só, mas investigar o uso de uma simulação utilizando uma metodologia de ensino-aprendizagem adequada. Até porque consideramos ainda que é um grande desafio a compreensão dos efeitos da utilização de Simulações no ensino de Física, principalmente no que diz respeito ao que é assimilado pelos alunos após a manipulação de uma Simulação Computacional.

É consenso de alguns autores (ARAUJO e VEIT, 2004; MARTINS e GARCIA, 2012) que os conteúdos de Mecânica Clássica foram os mais privilegiados nos últimos anos e com isso existem poucas pesquisas em assuntos relacionados ao Eletromagnetismo em geral no ensino de Ciências, permanecendo os temas vinculados a este assunto (lei de Ampère, lei de Faraday, Força de Lorentz, lei de Gauss e outros) à espera de maior destaque nas produções acadêmicas. Nesse trabalho propomos a realização de uma atividade de Ensino que trata da Força de Lorentz, por intermédio do uso de um Simulador Computacional tridimensional. Este simulador é

¹ Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>>. Acesso em: 07 agosto 2017.

² Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/>>. Acesso em: 07 agosto 2017.

³ Disponível em: <<https://scholar.google.com.br/scholar>>. Acesso em: 07 agosto 2017.

interativo e isso permite que o aluno altere vários parâmetros relacionados ao movimento de uma carga em um Campo (Força de Lorentz) na forma tridimensional, permitindo também a visualização dos resultados nas três dimensões. Essa atividade foi realizada por dois estudantes do curso de Licenciatura em Física da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA-Canoas). Para isso utilizaremos como principal referencial epistemológico a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) por sua abordagem em relação à mediação por computador, já que o foco do nosso trabalho de pesquisa está no estudo da possibilidade da evolução da aprendizagem da Força de Lorentz através da mediação por computador.

Ramos e Serrano (2014) identificaram que o uso de ferramentas computacionais causam impactos na estrutura cognitiva dos estudantes e nas suas habilidades visuoespaciais. Diante desse impacto das TIC's, o problema aqui se define com a seguinte questão: quais simulações mentais e *drivers*¹ são gerados por estudantes de Licenciatura em Física após a utilização de simulações computacionais desenhadas para a representação de um fenômeno científico? Sendo assim tem-se como objetivo investigar a modificação nestes *drivers*, relacionados à Força de Lorentz, após a utilização de uma simulação computacional e o impacto das simulações visando o seu possível auxílio durante o aprendizado do conceito da Força de Lorentz.

A análise dos discursos verbal e gestual foi feita a partir do material coletado nesta atividade e com isso, além do material escrito, também foram analisadas as entrevistas gravadas em vídeos na tentativa de identificar as possíveis simulações mentais nos estudantes segundo Clement (1994, 2000, 2008).

2. Referencial Teórico

Vivemos em uma era digital na qual o uso de computadores e dispositivos eletrônicos com acesso à internet é uma ação corriqueira. Pessoas de todas as idades passaram a estar conectadas diariamente com seus *smartphones*, *notebooks* ou *tablets*. A informação circula rapidamente e em abundância pela rede mundial de computadores – a *world wide web*. E essa informação está à disposição de muitas pessoas em um clique de *mouse* ou em um abrir de aplicativo. Diante deste contexto, (SOUZA, 2004) desenvolve sua argumentação, discorrendo sobre a existência de uma Hiper cultura:

Logo, é possível se afirmar que, na atual Revolução Digital, testemunha-se a emergência de uma Hiper cultura, onde os mecanismos externos de mediação passam a incluir os dispositivos computacionais e seus impactos culturais, enquanto que os mecanismos internos incluem as competências necessárias para o uso eficaz de tais mecanismos externos. Em termos de impactos observáveis, isso significa que todas as habilidades, competências, conceitos, modos de agir, funcionalidade e mudanças culturais ligadas ao uso de computadores e da Internet constituem um conjunto de fatores que difere substancialmente daquilo que tradicionalmente se percebe como cultura. (SOUZA, 2004, p. 86)

¹ Será explicado mais adiante.

Souza (2004), nesse contexto, analisa vários autores para sugerir que o cérebro e os órgãos sensoriais não são poderosos o suficiente para dar conta dos fenômenos cognitivos observados na espécie humana. Daí o autor constrói um conjunto de conceitos, dentro do seu proposto referencial teórico, dos quais nos chamam atenção os “mecanismos externos de mediação” e os “mecanismos internos de mediação” – trazendo uma perspectiva diferenciada no que se refere a considerar a chamada cognição externa (ao cérebro). Na verdade, o ponto inicial da construção desses conceitos é o fato de que o uso destes dispositivos eletrônicos – computadores, *tablets* e *smartphones* – se dá por um processo de mediação. Então, é natural inferir que esses dispositivos se tornem mecanismos externos de mediação, e que os mecanismos internos são construídos com o passar do tempo e com a necessidade de aquisição de novas competências para o uso de tais dispositivos.

Souza et al (2012) procuram explicar o processamento da informação pelo cérebro, propiciando uma abordagem ampla para a cognição humana. A TMC, nesse sentido, é uma teoria contextualista e construtivista. Os autores apresentam o desafio de "fornecer uma síntese teórica coerente de teorias psicológicas e estruturais que são geralmente vistas como separadas, ou mesmo em conflito umas com as outras, de modo a produzir um modelo unificado" (SOUZA et al., 2012, p. 2321). A TMC é fundamentada e referenciada em cinco premissas relativas à cognição humana e ao processamento de dados:

(...) 1) A espécie humana tem como maior vantagem evolutiva a capacidade de gerar, armazenar, recuperar, manipular e aplicar o conhecimento de várias maneiras; 2) A cognição humana é efetivamente o resultado de algum tipo de processamento de informação; 3) Sozinho, o cérebro humano constitui um finito e, em última instância, seu recurso de processamento de informação é limitado; 4) Praticamente qualquer sistema físico organizado é capaz de executar operações lógicas em algum grau; 5) Seres humanos complementam o processamento da informação cerebral por interação com os sistemas físicos externos organizados. (SOUZA et al, 2012, p. 2321. Tradução nossa).

Nesse viés, observa-se que a capacidade do cérebro humano de complementar o processamento de informações com o uso de sistemas físicos organizados é, para os autores desta contribuição, uma das suas melhores características, e culmina com a invenção dos computadores. Com o surgimento da Revolução Digital, houve mudanças importantes nas sociedades e culturas de todo o mundo, influenciando o homem em níveis individuais e coletivos pelo impacto das tecnologias digitais sobre o pensamento, surgindo desse contexto uma nova cultura, a Hipercultura (SOUZA et al, 2012). Os autores salientam também que, mesmo antes dos adventos computacionais, o cérebro humano já se utilizava de mediações externas auxiliares, porém estas eram mediações físicas do ambiente, objetos, sistemas simbólicos e artefatos. Essa mediação, para os autores, era denominada de mediação psicofísica cultural. Um exemplo dessa mediação é utilizar as formas criadas por limalhas de ferro quando expostas a um Campo Magnético para descrever o Campo Magnético.

Os autores, ademais, defendem que a cognição humana é o resultado do processamento de informações, e uma parte importante desse processamento é realizado fora do cérebro. Nesse sentido, utilizamos o processamento externo pela interação com estruturas do ambiente para aumentar a capacidade de processamento de informações feitas pelo cérebro. Por

exemplo, quando utilizamos um computador para processar informações, ou mesmo para realizar um cálculo mais complexo, estamos utilizando-o como um mecanismo externo de mediação. Para tanto, precisamos construir alguns mecanismos internos que nos possibilite manusear esse computador e compreender não somente o seu processamento, mas também as informações que ele está nos oferecendo. Estes mecanismos internos é que tornam possível a utilização dos mecanismos externos e são chamados pelos autores de *drivers*, tecendo uma analogia à computação, própria à linha de abordagem baseada na metáfora computador-cérebro da psicologia cognitiva.

A TMC interpreta os *drivers* como os dispositivos que trabalham como "máquinas virtuais" internas, que possuem um papel importante na definição do pensamento humano no contexto da mediação e vão para além da "conexão" com o mecanismo externo. Isto significa que para garantir o processo de mediação cognitiva com um mecanismo externo, nosso cérebro cria competências específicas para se comunicar com este mecanismo, que é um auxiliar no processamento de informação, e a partir dessa mediação, adquire um ganho de processamento de informações que se mantém mesmo que a conexão com o mecanismo externo seja interrompida. E esse ganho de processamento de informações é considerado pelo autor como aquisição de conhecimentos. Souza et al (2012) resumem este processo da seguinte forma:

A fim de integrar o processamento de informação feito pelo cérebro com um executado por mecanismos externos, é necessário que haja uma ligação lógica entre estes dispositivos. Por outras palavras, alguma forma de traduzir entradas, saídas e processamento entre eles. Isto é muito semelhante ao ter de instalar "controladores de dispositivos" de software num sistema de computador, de modo que este seja capaz de reconhecer e fazer funcionar um equipamento externo específico, tal como uma impressora, um scanner ou outro dispositivo de armazenamento. Nos seres humanos, isto pode ser conseguido por meio de uma representação mental de um sistema físico que é constituído de um conjunto de "teoremas-em-ação", no sentido estabelecido pela teoria dos campos conceituais de Vergnaud (Vergnaud, 1997), que são análogos ao funcionamento dinâmico do referido mecanismo externo, por conseguinte, tornando possível a um indivíduo interagir com este mecanismo externo para fins de processamento de informação. Como tal, o desenvolvimento deste "mecanismo interno" ocorre por meio da interação entre o indivíduo e o sistema físico correspondente, isto é, através do processo descrito na Epistemologia Genética de Piaget como "equilibração". (SOUZA et al, 2012, p. 2321-2322, tradução nossa)

O mecanismo externo de processamento de informações-computador interage com a estrutura cognitiva dos estudantes por mediação em função de que há a internalização de um conjunto de sistemas de signos (VYGOTSKY, 1984) capazes de fazer com que o estudante compreenda e internalize, mesmo que em parte, a informação que está sendo apresentada na tela. Esta contribuição vygotskiana é incorporada na TMC.

3. Procedimentos metodológicos

Este artigo apresenta os resultados parciais de uma pesquisa que visa a compreender e a identificar as influências das Simulações Computacionais na relação ensino-aprendizagem para

temas que envolvem o Eletromagnetismo, neste caso, a Força de Lorentz. Para esta análise, levamos em consideração as expressões verbais e gestuais, relacionando-as como forma de expressar os mecanismos internos e externos de mediação cognitiva, a fim de verificar as alterações nos *drivers* dos estudantes. As atividades foram realizadas com dois alunos do curso de Licenciatura em Física, da Universidade Luterana do Brasil, campus Canoas/RS. A aplicação do experimento foi feita logo após os alunos terem estudado o assunto da Força de Lorentz em sala de aula durante a disciplina intitulada Física Eletromagnetismo¹. As atividades desenvolvidas pelos estudantes constaram de um pré-teste, uma simulação com a utilização de um guia de simulação e um pós-teste. Para o pré-teste e para o pós-teste, foi utilizado o mesmo material, ou seja, uma sequência de questões semiestruturadas contendo múltiplas escolhas envolvendo a Força de Lorentz². No momento do pós-teste, os alunos foram entrevistados, e essa entrevista foi gravada em áudio e vídeo.

As simulações utilizadas foram elaboradas a partir de um programa desenvolvido com a tecnologia *Easy Java Simulation* (EJS). O EJS nada mais é do que uma ferramenta de *software* (gerador de código Java) projetado para a criação de simulações discretas de computador. Essa simulação foi utilizada pelos estudantes com a ajuda de um Roteiro de Atividades³ e nela podem ser investigadas uma partícula carregada e as forças exercidas sobre essa partícula carregada por Campos Elétricos e/ou Magnéticos. A simulação é interativa e composta de uma carga elétrica imersa em um espaço tridimensional, onde as suas velocidades iniciais podem ser alteradas em qualquer eixo tridimensional. Pode-se alterar também os parâmetros de simulação, permitindo assim que se possa observar como a carga se comporta quando exposta a apenas um Campo Elétrico ou então como a carga se comporta quando exposta a apenas um Campo Magnético. Ainda, o estudante, se assim o quiser, pode ativar ambos os campos e ver o que acontece. Sendo essa visualização tridimensional, o aluno pode alterar os parâmetros de velocidade e intensidade de Campo (Magnético ou Elétrico) tanto para x, y, ou z.

Para cada simulação, os alunos foram orientados a utilizar a técnica descrita como POE (Predizer-Observar-Explicar), pois esta é bem conhecida e utilizada em simulações computacionais como estratégia para promover o conflito cognitivo estabelecido durante a simulação em programas de simulação (TAO e GUNSTONE, 1999). Nessa técnica, primeiro tenta-se predizer o que irá ocorrer antes da simulação e com isso registrar esse momento. Em seguida, ao efetuar a simulação, observa-se o que acontece e também se registra. Finalmente, pede-se ao aluno que compare o que ele esperava que fosse acontecer com o que aconteceu, tentando explicar diferenças entre o observado e o previsto, caso estas diferenças tenham existido. Ao explicar a atividade, foi dada ênfase para que os alunos não tentassem simular o comportamento antes de terem refletido sobre o que iria acontecer e ter registrado esta previsão no guia de utilização do *software*. Essa técnica (POE) é utilizada como técnica de

¹ Grade curricular disponível em:

<http://www.ulbra.br/canoas/graduacao/presencial/fisica/licenciatura/matriz>. Acesso em: 08 março 2017. Ementas das disciplinas disponível em:

<http://www.ulbra.br/canoas/graduacao/presencial/fisica/licenciatura/ementa>. Acesso em: 08 março 2017.

² Disponibilizado em: <https://www.4shared.com/web/preview/pdf/iQW8gr9rce?>

³ Disponibilizado em: <https://www.4shared.com/web/preview/pdf/76xbNAoQba?>

confeção de manuais de simulações com diversos referenciais teóricos, para estimular um conflito cognitivo Piagetiano, e Piaget é um dos referenciais que a TMC utiliza quando o indivíduo desenvolve, através da interação com a simulação, a assimilação e a acomodação de um novo conceito ao já existente.

Após as etapas do pré-teste e do pós-teste, foram realizadas as entrevistas individuais com os estudantes, ocorridas uma semana após a realização da simulação. Nesse trabalho apresentamos alguns relatos desses casos. Para a realização das entrevistas, filmadas após a realização do pós-teste, utilizamos a técnica chamada de “*thinkaloud*” (SCHERR, 2008; STEPHENS; CLEMENT, 2010). Essa técnica consiste, sucintamente, em um método de coleta de dados onde o entrevistador e o entrevistado mantêm constante diálogo a respeito do que o entrevistado está pensando durante a execução de uma tarefa, no nosso caso desse trabalho, a realização do pós-teste e a comparação com o pré-teste. Durante as entrevistas, o entrevistador não se ateve apenas às questões do pré-teste e do pós-teste, mas também indagou quais seriam os outros possíveis movimentos da carga em questão, em outras situações.

Na análise das entrevistas gravadas, além do áudio, também nos detivemos em buscar algumas interpretações dos gestos utilizados pelos alunos, enquanto expressavam as suas ideias referentes ao pré-teste e pós-teste. Para isso, alicerçamo-nos nos trabalhos que vêm sendo desenvolvidos por Stephens e Clement (2010) e Clement (2008), que fornecem, de forma resumida, uma visão parcial das imagens mentais que o entrevistado possa estar utilizando. Encontramos também outros trabalhos desenvolvidos que buscam relacionar os gestos utilizados e as possíveis imagens mentais, que poderão estar associadas às representações internas. Nos trabalhos de Clement (1994, 2000, 2008), é considerado que o relatório verbal de imagens estáticas e dinâmicas, movimento das mãos, gestos descritivos e auto-projeção são indicativos de imagens mentais. Assim, esta técnica (“*thinkaloud*”) pode revelar algumas das imagens mentais que os estudantes utilizaram para resolver os problemas e também a origem destas (sala de aula, livros, simulações etc.). E com isso podem ser identificadas quais mediações externas (segundo a TMC) foram importantes para a resolução dos problemas.

Algumas pesquisas indicam que o uso de simulações computacionais pode facilitar aos estudantes a apropriação de simulações mentais e esse fato tem implicações positivas na aquisição de conhecimentos. Este aspecto também é compartilhado pelo autor da TMC, na medida em que esta teoria acolhe a ideia de que o processo de mediação com um mecanismo externo de processamento de informações propicia ao estudante construir em sua estrutura cognitiva as representações mentais análogas a esses mecanismos externos, sob a forma de imagens mentais. A partir dessa metodologia, adaptada para nossa realidade de pesquisa, é possível identificar gestos (CLEMENT, 1994, 2000, 2008) e relaciona-los com os conhecimentos implícitos existentes na estrutura cognitiva dos estudantes e considerados por nós como *drivers* (SOUZA, 2004).

4. Resultados

O tema de Eletromagnetismo tratado na simulação computacional foi a Força de Lorentz que, segundo sustenta Silva et al (2014), pode ser definida quando: “**um Campo Elétrico \vec{E} e um**

Campo Magnético \vec{B} agem sobre uma partícula com carga q e velocidade \vec{v} , a partícula experimenta uma força F_L , chamada Força de Lorentz” (Grifo nosso), que é calculada pela seguinte equação:

$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

A seguir passaremos a descrever as análises realizadas, relacionando algumas questões do pré-teste e do pós-teste, na tentativa de identificar possíveis *drivers* nos estudantes. O aluno 1 (A1), durante a entrevista, demonstrou ter conhecimentos prévios da Força de Lorentz, pois marcou as alternativas corretas para boa parte das questões propostas tanto no pré-teste como no pós-teste. O aluno em questão, em alguns momentos, demonstrou confundir alguns aspectos do assunto, como pode ser observado no diálogo abaixo.

P: A princípio o teu pré-teste e o teu pós-teste são bem parecidos. E eu queria te perguntar uma coisa com relação a uma questão que tu mudou a resposta no pós-teste (Pesquisador lê a questão). Eu quero que tu me diga exatamente que pensamento, ou qual foi a primeira coisa que surgiu na tua cabeça para resolver esta questão?

A1: Eu tentei lembrar da regra da mão direita que dependendo que lado seria a força dependendo da velocidade.

P: Então me explica como tu chegou enxergou a regra da mão direita. Eu quero que tu me explique e fale alto.

A1: Eu não lembro direito porque eu estava confundindo muito Campo Magnético com Campo Elétrico, eu estava misturando bastante.

P: E o que que tu achas que mudou do pré para o pós-teste?

A1: Aqui (no pós-teste) eu consegui interpretar certo a regra, eu acho. Se eu não me engano no pré eu estava utilizando os dedos para a força. Eu interpretei que, como a carga estava se deslocando para cima, a força estava para cima. Depois a força seria na palma ou no dorso da mão por causa do sinal da carga. Acho que eu estava mesmo é trocando qual dedo representava cada vetor.

P: E aqui (no pós-teste) tu interpretou certo como tu raciocinou certo? Tu tinha visto a força para cima né? Então como tu encaixa a regra da mão direita?

A1: Eu lembro que os 4 dedos eu usei como sendo a velocidade, a componente da velocidade. Eu alinhei a minha mão assim daí a força fica para cima (polegar) e como a carga é negativa ela sai do dorso da mão.

Nota-se que, apesar de algumas confusões, o aluno possui um conhecimento prévio do assunto que foi adquirido em sala de aula (regra da mão direita) e que ele se propôs a resolver algumas questões com essa regra. Nesta situação, conforme a TMC, o aluno utiliza-se de *drivers* que foram adquiridos através de uma mediação social, porque ele aprendeu a regra da mão direita em sala de aula, pois na simulação em nenhum momento aparece essa regra. O aluno comenta ainda que a utilização da simulação computacional o auxiliou a lembrar desses aspectos.

A1: Ele me ajudou a relembrar alguns pontos como a regra da mão direita.

P: Mas tem no simulador a regra da mão direita?

A1: Não mas eu lembrei da minha aula. Quando eu estava utilizando o simulador me veio a lembrança do meu professor de Eletromagnetismo.

Na Figura 1 podem ser vistos os gestos que o aluno utiliza com a mão direita na tentativa de resolver a questão proposta. A questão é a respeito da Força Magnética resultante que atua sob uma carga e essa Força Magnética é o resultado do produto vetorial entre a velocidade \vec{v} e o Campo Magnético \vec{B} (equação 1), e este produto vetorial muitas vezes é tratado em sala de aula como a regra da mão direita para a força em uma carga devido a um Campo Magnético, como como pode ser visto na Figura 2.

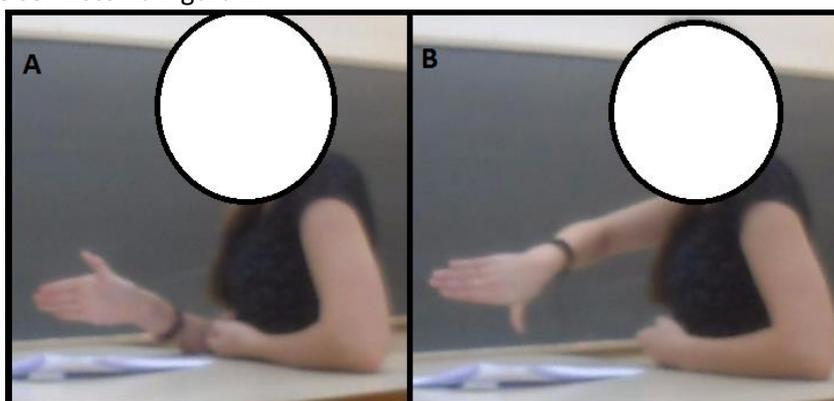


Figura 1: Gestos do aluno 1 indicando a regra da mão direita. (Fonte: A pesquisa)

Possivelmente os gestos do aluno querem indicar este produto vetorial, apesar da confusão que o aluno fez utilizando os 4 dedos da mão como sendo a velocidade ao invés de ser o Campo, como ele comenta:

A1: Que eu lembro que os 4 dedos eu usei como sendo a velocidade, a componente da velocidade. Eu alinhei a minha mão assim daí a força fica para cima (polegar) e como a carga é negativa ela sai do dorso da mão.

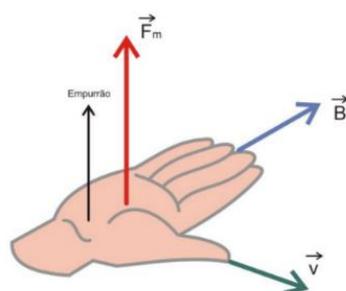


Figura 2: Regra da mão direita para a força magnética que atua em uma carga. (Fonte: <https://www.todamateria.com.br/forca-magnetica/>)

Apesar de A1 não utilizar de maneira correta essa regra (conforme a Figura 2), fica claro que ele possui *drivers* oriundos da mediação social, *drivers* estes que o aluno possui por meio da interação aluno-professor em sala de aula. Apesar de estes terem sido utilizados para explicar algumas questões, podemos observar também que A1 se utilizou de *drivers* de origem hipercultural devido à utilização da simulação computacional para explicar algumas questões quando este se remete ao movimento que a carga faz na simulação (Figura 1).

Como pode ser observado na Equação 1, a Força de Lorentz é composta do somatório de duas componentes, uma com relação à Força Elétrica, e outra com relação à Força Magnética. Primeiramente a Força Elétrica resultante que atua na carga acompanha o sentido do Campo Elétrico, e outra é a Força Magnética resultante, que leva em consideração o produto vetorial entre a velocidade \vec{V} e o Campo Magnético \vec{B} .

Essa diferenciação entre Força Elétrica e Força Magnética que podem atuar sobre uma carga nem sempre é apresentada durante o curso de Física Licenciatura aos alunos. Em certos momentos, apresenta-se somente casos específicos que envolvem uma ou outra situação. Com relação a A1, podemos ver que os seus conhecimentos de Força de Lorentz não abordavam as duas possíveis situações, e que a utilização do simulador computacional o auxiliou para que ele pudesse observar a influência do Campo Magnético e/ou Elétrico sobre uma carga pontual. Vejamos, no diálogo abaixo, que essa diferenciação é proposta pelo simulador e comentada pelo estudante.

P: Tá certo! E se esse Campo fosse Elétrico ou Magnético ele teria uma cara diferente para ti?

A1: No início era a mesma coisa mas depois que eu utilizei o simulador eu comecei a diferenciar. Daí eu consegui separar mais os dois.

P: Como é que tu separas isso? Alguma diferença visual?

A1: A principal característica que diria é que a carga se move junto com o Campo Elétrico e já o Campo Magnético exerce uma Força nesta carga.

P: Então alguma coisa mudou para ti antes e depois da simulação.

A1: Basicamente foi isso, a diferenciação do Campo Elétrico e do Campo Magnético.

Esta diferenciação entre a Força Elétrica resultante sobre a carga ($q\vec{E}$) e a Força Magnética resultante sobre a carga ($q(\vec{v}\times\vec{B})$) feita por A1 pode ser vista através de possíveis imagens mentais que A1 demonstra na Figura 3 abaixo.

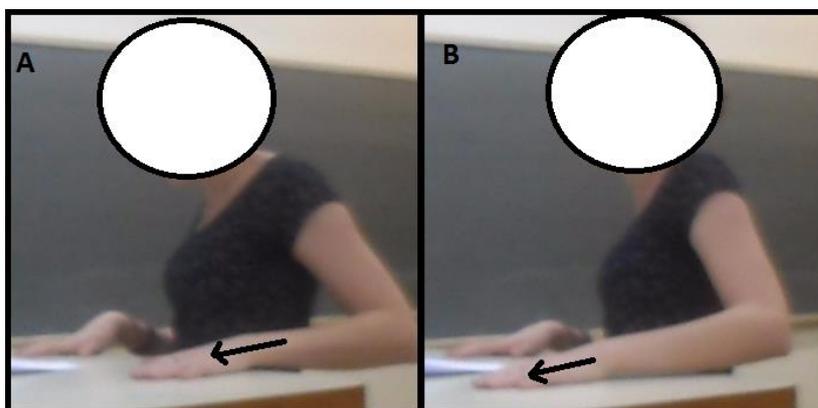


Figura 3: Movimento da mão de A1 demonstrando a Força Elétrica resultante sobre a carga. (Fonte: A pesquisa)

Primeiramente A1 mostra a Força Elétrica resultante sobre a carga quando ele movimentava a mão esquerda, indicando que a carga acompanha o sentido do Campo Elétrico (imagem

dinâmica). Já em outra imagem (Figura 4), podemos observar A1 mostrando que, com relação à Força Magnética atuante sobre a carga, esta depende do vetor Campo Magnético e da velocidade, e o estudante demonstra isso através da regra da mão direita (imagem dinâmica).

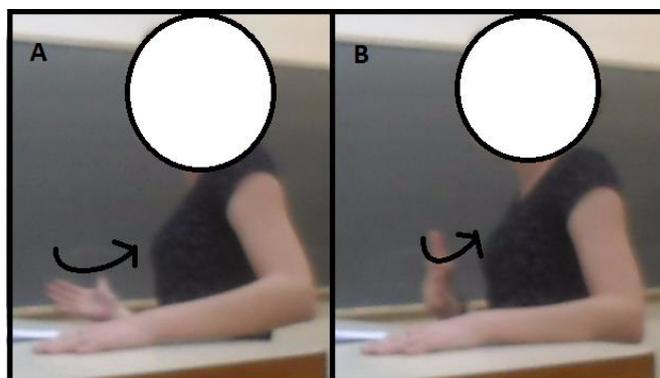


Figura 4: Movimento da mão de A1 demonstrando a força magnética resultante sobre a carga.
(Fonte: A pesquisa)

Essas possíveis imagens mentais representadas por A1 nas figuras 3 e 4 tentaram reproduzir o que aconteceu durante a simulação. Por isso entende-se que o mecanismo externo de processamento de informações interagiu com o estudante, e que este criou *drivers* específicos que permanecem mesmo após a mediação com o mecanismo externo não existir mais. O aluno 2 (A2), ao ser entrevistado, diferenciou-se do anterior, pois se utilizou de palavras mais específicas para explicar cada pergunta. Algumas dessas palavras foram: “multiplicação entre vetores”, “ação de um campo”, “elétron”, “próton”. Com isso o aluno demonstrou claramente que tinha um conhecimento de vários aspectos de Eletromagnetismo, e que estes foram adquiridos anteriormente à utilização da Simulação.

O aluno comenta que não tem conhecimento a respeito da Força de Lorentz, mas demonstrou saber de aspectos relacionados a essa força, conforme pode ser observado no diálogo abaixo:

P: O que vem na tua mente quando se fala em Força de Lorentz?

A2: Na minha cabeça só vem um referencial teórico dos livros e do que eu li sobre e estudei.

P: Essa lembrança que te veio à mente foi depois que tu utilizou o simulador? Ele te auxiliou em algo?

A2: Pois é, é que eu não conhecia por Força de Lorentz. E o simulador não falou diretamente em Força de Lorentz.

P: Então os livros falavam em Força de Lorentz?

A2: Na verdade eu não lembro deste nome – Força de Lorentz.

P: Então porque tu lembrou dos livros?

A2: Justamente quando o simulador mostrou a questão do Campo Magnético, eu lembrei que existe uma força sobre uma carga em movimento sob a atuação de um Campo Magnético.

Diante da fala de A2, entende-se que possivelmente ele não estudou anteriormente a Força de Lorentz, levando em consideração um Campo Elétrico e um Campo Magnético (conforme equação 1). Isso vai de encontro à fala de A1, que parece que, da mesma forma, foi apresentada à força que atua sobre uma carga somente levando em consideração casos isolados tipicamente apresentados nos livros didáticos. Um dos aspectos que o aluno já sabia era a regra da mão direita para a força resultante sobre uma carga imersa em um Campo Magnético, pois ele a utiliza no momento da fala acima. A imagem mental da demonstração da regra pode ser vista na Figura 5.

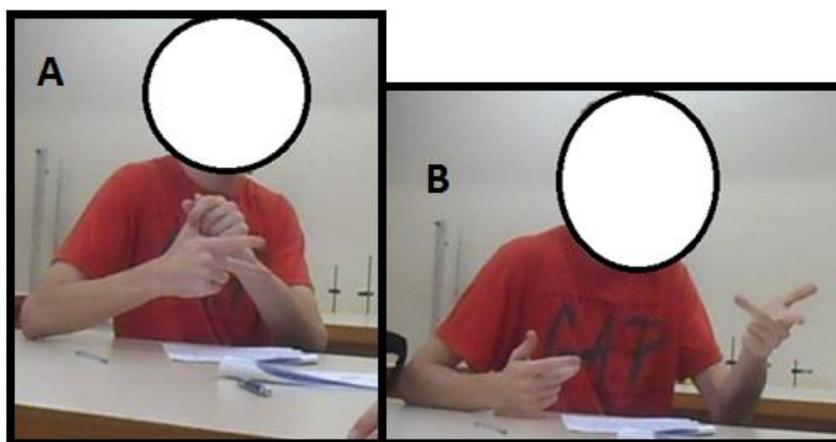


Figura 5: Aluno 2 (A2) explicando uma questão utilizando a regra da mão direita. (Fonte: A pesquisa)

E na fala abaixo o aluno demonstra saber explicar de maneira correta a utilização desta regra:

A2: Essa regra é a seguinte, a gente tem uma carga em movimento, e uma componente perpendicular ao movimento da carga e a partir da multiplicação entre esses vetores, porque essa multiplicação vetorial entre a velocidade e o Campo Magnético, resulta na Força Magnética. Mas isso vale para uma carga positiva, já para uma carga negativa eu uso a regra da mão esquerda.

O conhecimento demonstrado pelo aluno possivelmente foi adquirido em sala de aula por intermédio da interação aluno-professor causando, assim como em A1, um *driver* sócio cultural, tendo como mediador a interação social. Abaixo vemos a continuação do diálogo onde A2 comenta a incorporação do que ele vê no simulador com o que ele já sabia.

P: E o simulador te mostrou isso?

A2: Não, mas eu vi isso na aula e consegui ligar com o simulador. Porque tu tens a velocidade ali e a carga faz esse movimento, que é um movimento de círculo.

P: E isso tu enxergou no simulador.

A2: Sim, isso eu enxerguei no simulador, daí ali eu levei em conta uma com a outra e consegui entender melhor.

E esse movimento de círculo o aluno demonstra, de maneira dinâmica, através de imagens mentais oriundas da simulação, como pode ser visto na Figura 6.

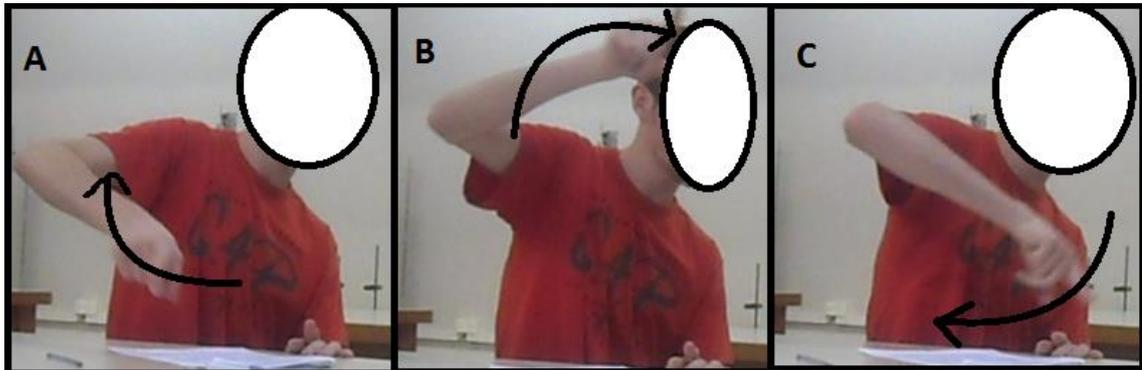


Figura 6: Movimento circular dinâmico de uma carga imersa em um campo magnético demonstrado pelo aluno 2. (Fonte: A pesquisa)

Esse movimento representado pelo aluno é o mesmo movimento que a carga faz no simulador da Força de Lorentz quando o ângulo entre a velocidade e o Campo Magnético é 90°, como pode ser visto na Figura 7. A2 realiza gestos que indicam imagens mentais dinâmicas (Figura 6) semelhantes às apresentadas durante a simulação (Figura 7).

Podemos perceber com isso que a Simulação Computacional pode estar contribuindo para a compreensão de conceitos de Eletromagnetismo, neste caso, Força de Lorentz, pois o aluno se utiliza de imagens mentais que são provenientes da simulação.

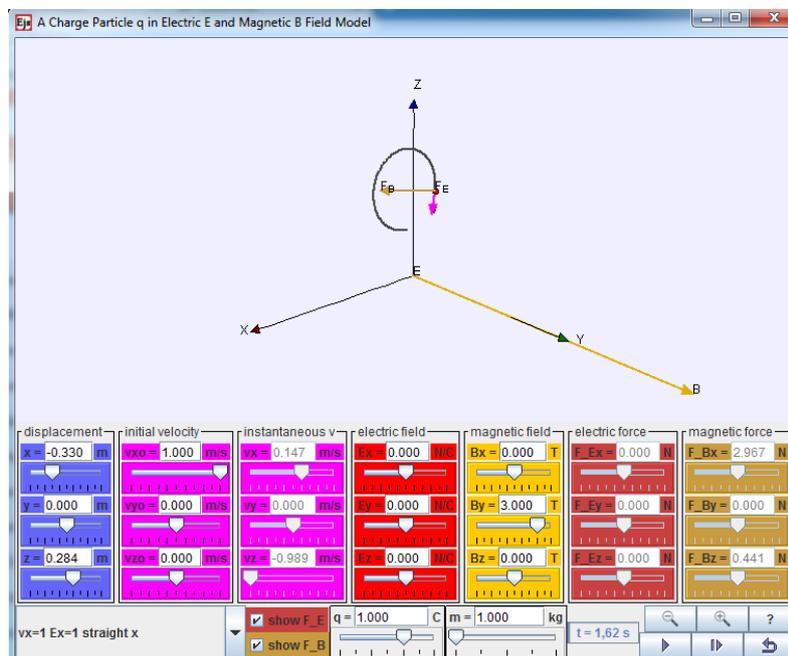


Figura 7: Movimento circular de uma carga imersa em um Campo Magnético. (Fonte: A pesquisa)

O aluno demonstrou ter conhecimentos sobre aspectos da Força de Lorentz pela demonstração de gestos que indicam que ele possui *drivers* com origem em uma mediação social segundo a TMC. E entendemos que este *driver*, que era antes apenas social, sofreu modificações que incorporaram, em sua estrutura, os mecanismos externos apresentados na simulação, tornando-se um *driver* de origem hipercultural. Com isso ocorreu uma evolução

durante a modificação deste *driver* que ocorreu por meio dos mecanismos externos de mediação hipercultural, que neste caso foram a Simulação Computacional.

Temos ainda outra figura na qual o aluno demonstra ter uma imagem mental do movimento dinâmico da carga, porém este movimento é na forma de uma espira, pois existem componentes diferentes entre o ângulo da velocidade da carga com o Campo Magnético. A Figura 8, assim como a Figura 6, mostra que o estudante internalizou o conteúdo visualizado na Simulação Computacional, que aqui pode ser considerado como um mecanismo externo para o processamento de informações.

O estudante, ao ter contato com a simulação, desenvolve novos *drivers* a partir de um processo de equilibração piagetiana. Esses *drivers* permanecem na estrutura cognitiva do estudante, mesmo depois de “desconectado” do mecanismo de processamento extra-cerebral. Esses novos *drivers* são identificados a partir da descrição do aluno, demonstrada na fala e nos gestos do estudante indicados nas Figuras 6 e 8.

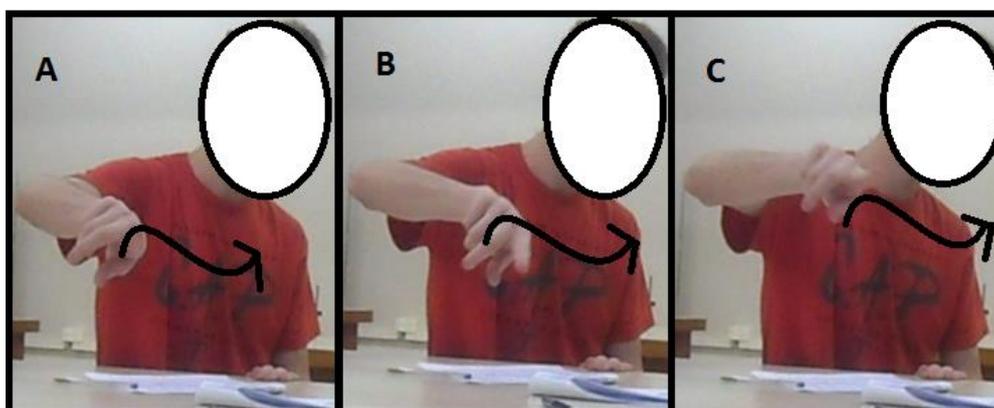


Figura 8: Movimento espiral dinâmico de uma carga imersa em um Campo Magnético apresentado pelo aluno 2. (Fonte: A pesquisa)

Então, identificamos aqui a aquisição de *drivers* que permitem ao estudante ter uma visão dinâmica de um comportamento de uma carga imersa tanto em um Campo Magnético como em um Campo Elétrico, adquirida pela mediação com o software de Simulação Computacional. O simulador, que é um auxiliar no processamento de informação, a partir da mediação, proporcionou aos estudantes (A1 e A2) um ganho de processamento de informações que se manteve mesmo quando a conexão com o mecanismo externo foi interrompida, lembrando que a entrevista foi realizada uma semana depois de o aluno ter realizado a simulação, e esse ganho de processamento de informações é considerado por Souza (2004) como aquisição de conhecimentos.

5. Considerações finais

Iniciamos este trabalho com o objetivo de investigar a modificação nos *drivers* de estudantes após o uso de uma Simulação Computacional tridimensional e se essa auxiliaria no aprendizado do conceito da Força de Lorentz, servindo como ferramenta de processamento extra cerebral para a evolução deste conceito. Percebeu-se que os dois estudantes de licenciatura em Física apresentavam conhecimentos prévios de alguns aspectos vinculados à Força de Lorentz; todavia, esses conhecimentos eram limitados, não abrangendo a sua forma

“completa”, ou seja, quando trata da ação simultânea dos Campos Magnético e Elétrico. Percebemos que esta força é apresentada, algumas vezes, de maneira mais simplificada, demonstrando somente alguns casos específicos como alguns livros didáticos propõem.

Por meio do contato com o mecanismo de processamento externo (*software* de simulação), parte de seu conteúdo foi internalizado, e as informações confrontadas com os *drivers* existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, *drivers* esses que eram, segundo a TMC, de origem na interação social (sala de aula). Este confronto também se deu por intermédio dos roteiros que utilizaram o método de conflito cognitivo determinado de POE, o que possivelmente causou a criação de novos *drivers* nos estudantes.

Com isso, este relato de experiência nos permite dizer, de uma maneira geral, que o uso do *software* de Simulação Computacional permitiu aos estudantes a construção de novas representações e de novos *drivers*, que se mantiveram presentes. Os dados que apresentamos neste recorte mostram os indícios da presença deles, tanto na fala quanto nos gestos descritivos e no comparativo dos testes (pré e pós-testes).

Ao utilizarmos a TMC para tentar explicar de que forma ocorre a aquisição de conhecimentos, percebemos que os novos *drivers* são desenvolvidos para permitir esse processo de mediação e, com isso, a estrutura cognitiva do estudante vai se modificando. Para a TMC, a aquisição de conhecimentos ocorre quando novos *drivers* são criados, a partir de um processo piagetiano de equilíbrio (presente também no método POE). A simples existência desses novos *drivers* dota os estudantes de ferramentas cognitivas que aumentam certas competências e o raciocínio. Esse ganho cognitivo foi evidenciado neste caso, na medida em que percebemos que o estudante externalizou, por gestos e explicações na fala, um conjunto de conhecimentos que foram adquiridos com o manuseio do programa de simulação.

Então, identificamos aqui a aquisição de *drivers* que permitem ao estudante ter uma visão dinâmica de um comportamento de uma carga imersa, tanto em um Campo Magnético como em um Campo Elétrico, adquirida pela mediação com o *software* de Simulação Computacional. O simulador, que é um auxiliar no processamento de informação (segundo o referencial teórico aqui adotado), a partir da mediação, proporcionou aos estudantes (A1, A2) um ganho de processamento de informações que se manteve mesmo quando a conexão com o mecanismo externo foi interrompida (esses alunos resolveram vários problemas após a utilização da simulação).

Com isso, os resultados aqui apresentados são consistentes com a Teoria da Mediação Cognitiva proposta por Souza (2004), lembrando que a entrevista foi realizada uma semana depois de os discentes terem realizado a simulação, e esse ganho de processamento de informações é considerado por Souza (2004) como aquisição de conhecimentos.

A nosso ver a complementação do processamento de informações através desse mecanismo externo, que é o uso dos computadores, e do surgimento de novos mecanismos internos, os *drivers* de assimilação, é uma das grandes perspectivas oferecidas pela hipercultura no aprendizado de conceitos científicos.

6. Referências

- ARAUJO, S.; VEIT, E. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, p. 5-18, 2004.
- BARBOSA, C. et al. O movimento de cargas elétricas em um fio condutor: Cuidados com as simplificações das simulações em ensino de Física. **Scientia Plena**, v. 13, 2017.
- BRUSCATO, G.; MORS, P. Ensinando física através do radio amadorismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 36, Março 2014.
- CLEMENT, J. Imagistic simulation and physical intuition in expert problem solving. **The 16th annual conference of the Cognitive Science Society**. Springer, p. 201-206, 1994.
- CLEMENT, J. Analysis of clinical interviews: Foundations and model viability. New Jersey: Lawrence Erlbaum, p. 341-385, 2000.
- CLEMENT, J. **Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation**. Amherst: Springer, 2008.
- ESQUEMBRE, F. Computers in Physics Education. **Computer Physics Communications**, v. 147, p. 13-18, agosto 2002.
- MACÊDO, J. et al. Levantamento das abordagens e tendências dos trabalhos sobre as tecnologias da informação e comunicação apresentados no XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, abril 2014, p. 167-197.
- MARTINS, J.; GARCIA, D. Ensino de Física e novas tecnologias de informação e comunicação: uma análise da produção recente. In ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2012, Campinas. **Atas do VIII ENPEC**. Campinas: UNICAMP, 2012.
- RAMOS, A. F.; SERRANO, A. The Use of Computational Molecular Modeling as an External Cognitive Processing Tool: Preliminary Results of a Gestual Analysis. **Proceedings of ESERA 2013 Conference**, p.1-10, 2014.
- SCHERR, R. Gesture analysis for physics education researches. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, New York, v. 4, p. 1-9, 2008.
- SILVA, C. et al. **Eletromagnetismo: Fundamentos e simulações**. São Paulo: Pearson, 2014.
- SOUZA FILHO, G. F. D. **Simuladores computacionais para o ensino de Física Básica: Uma discussão sobre produção e uso**, 2010. 77p, Dissertação (Mestrado profissional em ensino de Física) Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2010_Geraldo_Felipe/dissertacao_Geraldo_Felipe.pdf>.
- SOUZA, B. C. DE. **A Teoria da Mediação Cognitiva: Os impactos cognitivos da Hiper cultura e da Mediação Digital**, 2004. 282p, Tese (Doutorado em Psicologia) Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <<http://www.liber.ufpe.br/teses/arquivo/20040617095205.pdf>>.

SOUZA, B. et al. Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. **Computers in Human Behavior**, Quebec, v. 28, n. 6, p. 2320–2330, November 2012.

STEPHENS, L.; CLEMENT, J. Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, New York, p. 1-15, 2010.

TAO, K.; GUNSTONE, R. Conceptual Change in Science through Collaborative Learning at the computer. **International Journal of Science Education**, 1999.

VYGOTSKY, S. **A formação social da mente**. São Paulo: Marins Fontes Editora LTDA, 1984.

VITAL, A.; GUERRA, A. A natureza da ciência no ensino de Física: estratégias didáticas elaboradas por professores egressos do mestrado profissional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, p. 225-257, Agosto 2014.