

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



FERNANDO COLOMBY PIEPER

UM ESTUDO DO PROCESSO DE INTERNALIZAÇÃO DE CONCEITOS DE
ELETROMAGNETISMO UTILIZANDO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL TRIDIMENSIONAL

Canoas, 2019

UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



FERNANDO COLOMBY PIEPER

UM ESTUDO DO PROCESSO DE INTERNALIZAÇÃO DE CONCEITOS DE
ELETROMAGNETISMO UTILIZANDO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL TRIDIMENSIONAL

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências e Matemática.

AGOSTINHO SERRANO DE ANDRADE NETO

Canoas, 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

P614e Pieper, Fernando Colomby.

Um estudo do processo de internalização de conceitos de eletromagnetismo utilizando software de simulação computacional tridimensional / Fernando Colomby Pieper. – 2019.
246 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Luterana do Brasil, Programa de Pós- Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Canoas, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto.

1. Ensino de física. 2. Simulações computacionais. 3. Força de Lorentz. 4. Teoria da medição cognitiva. 5. Força elétrica. 6. Força magnética. I. Andrade Neto, Agostinho Serrano de. II. Título.

CDU 372.853

Bibliotecária responsável – Heloisa Helena Nagel – 10/981

FERNANDO COLOMBY PIEPER

UM ESTUDO DO PROCESSO DE INTERNALIZAÇÃO DE CONCEITOS DE
ELETROMAGNETISMO UTILIZANDO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL TRIDIMENSIONAL

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências e Matemática.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto - Orientador

Prof. Dr. Bruno Campelo de Souza

Prof. Dr. Jeferson Fernando de Souza Wolff

Prof. Dr. Rossano André Dal-Farra

Profa. Dra. Clarissa de Assis Olgin

Dedicatória:

Como sempre, a minha linda e amada esposa
Jordana.

AGRADECIMENTOS

Como em outras vezes, eu agradeço a Deus pela motivação, inspiração e pelas oportunidades que me foram dadas na vida. Não só por Ele ter me permitido conhecer pessoas e lugares interessantes, mas também por Ele ter me proporcionado viver fazes difíceis, onde estas serviram de matéria prima de aprendizado.

Como em outras vezes, agradeço a minha esposa por ser sempre gentil, pelas palavras de sabedoria e pelos incontáveis momentos de ânimo. E agora acrescento um agradecimento aos nossos filhos Martín e Mateo, que serviram de fonte de inspiração para o termino deste trabalho.

Também um sincero obrigado a todos os professores e colegas do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da ULBRA, que me acolheram e acreditaram no meu potencial. Obrigado também a todos os que fizeram parte diretamente ou indiretamente da minha trajetória.

Muito obrigado !

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“pois a sabedoria é mais proveitosa do que a prata e rende mais do que o ouro.”

(Provérbios 3:14)

RESUMO

Diante da histórica dificuldade que os alunos possuem a respeito dos temas que envolvem o Eletromagnetismo em Física, vários novos métodos de ensino desses conteúdos em sala de aula têm sido utilizados por professores na tentativa de melhorar o aprendizado das representações de determinados fenômenos. A representação tridimensional faz parte de muitos dos fenômenos Eletromagnéticos, e as Simulações Computacionais são ferramentas capazes de auxiliar no ensino destas representações. Por mais que existam muitos entusiastas do uso das TIC no Ensino de Ciências, poucos autores se dedicaram a investigar o impacto das simulações computacionais de temas relacionados ao Eletromagnetismo no ensino de Física. Com isso o presente trabalho busca investigar o impacto das Simulações Computacionais Tridimensionais nas habilidades relativas à visualização espacial da Força de Lorentz e se elas auxiliam no aprendizado de conceitos e resolução de problemas dessa área do Eletromagnetismo, tendo como alvo de pesquisa os futuros professores de Física. Para interpretar os dados obtidos tomamos como referencial teórico a Teoria da Mediação Cognitiva, que procura fornecer uma síntese teórica coerente de teorias psicológicas e estruturais de modo a produzir um modelo que explique o processamento de informações dentro e fora do cérebro. E como referencial epistemológico utilizamos as ideias de Larry Laudan, pois estas fundamentam a nossa escolha de referencial teórico por ligar o desenvolvimento científico à capacidade de resolver problemas. Durante as entrevistas os gestos dos alunos foram identificados e analisados e, a partir da metodologia utilizada, nos é permitido dizer que os estudantes evoluíram na sua compreensão sobre a Força de Lorentz demonstrando possuir uma visão mais dinâmica durante a explicação deste fenômeno Físico. Por mais que em alguns momentos estes utilizaram a Simulação Computacional como um coadjuvante para explicar problemas que envolviam temas de Eletromagnetismo onde muitas vezes os alunos utilizavam recursos que foram vistos em sala de aula na explicação destes fenômenos, entende-se que a utilização de uma Simulação Computacional contribui para o processo de ensino e aprendizagem desta lei da Física.

Palavras-chave: Ensino de Física. Simulações Computacionais. Força de Lorentz. Teoria da Mediação Cognitiva. Força Elétrica. Força Magnética.

ABSTRACT

In view of the historical difficulty students have about the issues surrounding electromagnetism in physics, several new methods of teaching these contents in the classroom have been used by teachers in an attempt to improve the learning of the representations of certain phenomena. Three-Dimensional representation is part of many of the electromagnetic phenomena, and Computational Simulations are tools capable of assisting helping in the teaching of these representations. Although there are many enthusiasts of the use of TIC in Science Teaching, few authors have dedicated themselves to investigate the impact of computational simulations of subjects related to Electromagnetism in the teaching of Physics. Thereby, the present work investigates the impact of the Three-Dimensional Computational Simulations on the abilities related to the spatial visualization of the Lorentz Force and if they aid in the learning of concepts and problem solving of this area of Electromagnetism, having as research target the future teachers of Physics. In order to interpret the obtained data we take as theoretical reference the Theory of Cognitive Mediation, which seeks to provide a coherent theoretical synthesis of psychological and structural theories in order to produce a model that explains the processing of information inside and outside the brain. And as an epistemological reference, we use Larry Laudan's ideas, because they base our choice of theoretical reference for linking scientific development to problem solving. During the interviews the student's gestures were identified and analyzed and, based on the methodology used, we are allowed to say that the students evolved in their understanding of the Lorentz Force demonstrating a more dynamic view during the explanation of this Physical phenomenon. Although at times they used Computational Simulation as a coadjuvant to explain problems involving Electromagnetism subjects where students often used resources that were seen in the classroom in explaining these phenomena, it is understood that the use of a Computational Simulation contributes to the teaching and learning process of this Law of Physics.

Keywords: Physics Teaching Computational Simulations. Lorentz Force. Theory of Cognitive Mediation. Electrical Force. Magnetic Force.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – WORD CLOUD DOS RESUMOS DOS ARTIGOS	35
FIGURA 2 - GRÁFICO DA FUNÇÃO $V(x, y, 0)$ PARA UMA ESFERA UNIFORMEMENTE CARREGADA DE RAIO = 1, COM CENTRO NA ORIGEM.	55
FIGURA 3 – GRÁFICO DA DISPONIBILIDADE DE COMPUTADORES NAS ESCOLAS NO BRASIL.....	63
FIGURA 4 - GRÁFICO DA DISPONIBILIDADE DE INTERNET NAS ESCOLAS NO BRASIL.....	64
FIGURA 5 – PROCESSAMENTO COGNITIVO POR MEDIAÇÃO COM ESTRUTURAS DO AMBIENTE.....	71
FIGURA 6 - MAPA CONCEITUAL DA TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA.....	74
FIGURA 7 – TRAJETÓRIA DE UMA PARTÍCULA EM UM CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME NO SENTIDO DE Y COM A VELOCIDADE INICIAL DA CARGA NO MESMO SENTIDO	87
FIGURA 8 - TRAJETÓRIA DE UMA PARTÍCULA EM UM CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME NO SENTIDO DE Y COM A VELOCIDADE INICIAL DA CARGA NO SENTIDO PERPENDICULAR A Y (NESSE CASO X).....	87
FIGURA 9 - MOVIMENTO HELICOIDAL DA CARGA ELÉTRICA	88
FIGURA 10- MAPA CONCEITUAL DA FORÇA DE LORENTZ.	89
FIGURA 11- MAPA CONCEITUAL Q-E.	90
FIGURA 12 – CAPACITOR COMO FONTE DO CAMPO ELÉTRICO.	93
FIGURA 13 - MOVIMENTO DA CARGA ELÉTRICA EM UM CAMPO ELÉTRICO...	94
FIGURA 14 - TRAJETÓRIA DE UMA PARTÍCULA AO ENTRAR EM UM CAMPO ELÉTRICO.....	95
FIGURA 15 - REGRA DE FLEMING DA MÃO ESQUERDA.....	96
FIGURA 16 - REGRA DO TAPA	97
FIGURA 17 - TELA DE ABERTURA DO SOFTWARE.....	108
FIGURA 18 - SEGUNDA ABA DA TELA DE INICIAÇÃO DO SIMULADOR	109
FIGURA 19 - TELA INICIAL DO SIMULADOR COMPUTACIONAL	110

FIGURA 20 - PARÂMETROS QUE PODEM SER ALTERADOS E/OU VISUALIZADOS NO SIMULADOR	111
FIGURA 21 - SITUAÇÕES PRÉ-DEFINIDAS QUE PODEM SER UTILIZADAS NO SIMULADOR	113
FIGURA 22 – IMAGEM DA PRIMEIRA SIMULAÇÃO DO ROTEIRO	115
FIGURA 23 – IMAGEM DA SEGUNDA SIMULAÇÃO DO ROTEIRO	116
FIGURA 24 – IMAGEM DA TERCEIRA SIMULAÇÃO DO ROTEIRO.....	117
FIGURA 25 - IMAGEM DA QUARTA SIMULAÇÃO DO ROTEIRO.....	118
FIGURA 26 – IMAGEM DA QUINTA SIMULAÇÃO DO ROTEIRO	119
FIGURA 27 - IMAGEM DA SEXTA SIMULAÇÃO DO ROTEIRO.....	120
FIGURA 28 - IMAGEM DA SÉTIMA SIMULAÇÃO DO ROTEIRO	121
FIGURA 29 - IMAGEM DA OITAVA SIMULAÇÃO DO ROTEIRO	122
FIGURA 30 – DIVISÃO DOS GESTOS REALIZADOS PELOS ESTUDANTES	128
FIGURA 31 - GESTOS DO ALUNO 1 INDICANDO A REGRA DA MÃO DIREITA. 132	
FIGURA 32 - REGRA DA MÃO DIREITA PARA A FORÇA MAGNÉTICA QUE ATUA EM UMA CARGA.....	133
FIGURA 33 - MOVIMENTO DA MÃO DE A1 DEMONSTRANDO A FORÇA ELÉTRICA RESULTANTE SOBRE A CARGA	135
FIGURA 34 - MOVIMENTO DA MÃO DE A1 DEMONSTRANDO A FORÇA MAGNÉTICA RESULTANTE SOBRE A CARGA	136
FIGURA 35 - REPRESENTAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA PELO SIMULADOR COMPUTACIONAL.....	138
FIGURA 36 - ALUNO 2 (A2) EXPLICANDO UMA QUESTÃO UTILIZANDO A REGRA DA MÃO DIREITA.	141
FIGURA 37 - MOVIMENTO CIRCULAR DINÂMICO DE UMA CARGA IMERSA EM UM CAMPO MAGNÉTICO DEMONSTRADO PELO ALUNO A2.....	142
FIGURA 38 - MOVIMENTO CIRCULAR DE UMA CARGA IMERSA EM UM CAMPO MAGNÉTICO	144
FIGURA 39 – MOVIMENTO ESPIRAL DINÂMICO DE UMA CARGA IMERSA EM UM CAMPO MAGNÉTICO APRESENTADO PELO ALUNO	145
FIGURA 40 - MOVIMENTO HELICOIDAL DE UMA CARGA IMERSA EM UM CAMPO MAGNÉTICO.....	146

FIGURA 41 - GESTOS DE A2 A RESPEITO DA FORÇA ELÉTRICA RESULTANTE SOBRE UMA CARGA.....	148
FIGURA 42 - MOVIMENTO DO INDICADOR DE A3 DEMONSTRANDO A FORÇA ELÉTRICA RESULTANTE SOBRE A CARGA.....	152
FIGURA 43 - PRIMEIRA REPRESENTAÇÃO, E A EXPLICAÇÃO, UTILIZADA PELO ESTUDANTE A3 PARA EXPLICAR AS FORÇAS QUE PODEM ATUAR SOBRE UMA CARGA.....	155
FIGURA 44 - SEGUNDA REPRESENTAÇÃO, E A EXPLICAÇÃO, UTILIZADA PELO ESTUDANTE A3 PARA EXPLICAR AS FORÇAS QUE PODEM ATUAR SOBRE UMA CARGA.....	157
FIGURA 45 - MOVIMENTO CIRCULAR DINÂMICO DE UMA CARGA IMERSA EM UM CAMPO MAGNÉTICO DEMONSTRADO PELO ALUNO A3.....	159
FIGURA 46 - TERCEIRA REPRESENTAÇÃO E A EXPLICAÇÃO UTILIZADA PELO ESTUDANTE A3 PARA EXPLICAR AS FORÇAS QUE PODEM ATUAR SOBRE UMA CARGA.....	159
FIGURA 47 - GESTOS DE A3 A RESPEITO DA REPRESENTAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA.....	162
FIGURA 48 - DIFERENTES TIPOS DE "REGRA DA MÃO DIREITA".....	163
FIGURA 49 - GESTOS DO ALUNO A4 INDICANDO A REGRA DA MÃO DIREITA.....	165
FIGURA 50 - RESPOSTA DO ESTUDANTE A4 À QUESTÃO 9 DO PÓS-TESTE	166
FIGURA 51 – GESTO DO ALUNO 4 INDICANDO O MOVIMENTO DA CARGA. ..	167
FIGURA 52 - GESTO DE A4 "SOLTANDO A CARGA NO AR".....	169
FIGURA 53 - LETRA "Q" PARA NOMEAR A CARGA ELÉTRICA NO SOFTWARE.	169
FIGURA 54 - RESPOSTA DO ESTUDANTE A5 À QUESTÃO 9 DO PRÉ-TESTE.	171
FIGURA 55 - RESPOSTA DO ESTUDANTE 5 À QUESTÃO 9 NO PÓS-TESTE... ..	173
FIGURA 56 - IMAGEM DE A5 UTILIZANDO A REGRA DA MÃO DIREITA	175
FIGURA 57 - DRIVER HIPERCULTURAL QUE DEMONSTRA O MOVIMENTO HELICOIDAL DA CARGA.....	176
FIGURA 58 - MOVIMENTO DA SIMULAÇÃO NÚMERO OITO DO ROTEIRO DE UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR.....	177
FIGURA 59 - REPRESENTAÇÃO DO CAMPO PELO ESTUDANTE A5.....	179

FIGURA 60 - GESTO DO ESTUDANTE 5 REFERENTE A "SOLTANDO A CARGA NO AR"	180
FIGURA 61 - ESTUDANTE 6 INDICANDO O MOVIMENTO DA CARGA IMERSA EM UM CAMPO ELÉTRICO	183
FIGURA 62 - ATIVIDADE 1 E ATIVIDADE 2, RESPECTIVAMENTE, DO ROTEIRO DE UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR COMPUTACIONAL	183
FIGURA 63 - GESTO FEITO POR A6 INDICANDO O MOVIMENTO CIRCULAR FEITO PELA CARGA	184
FIGURA 64 - MOVIMENTO CIRCULAR RESULTANTE DA SÉTIMA SIMULAÇÃO DO ROTEIRO	185
FIGURA 65 - GESTO #MAA (MÃOS ABERTAS NO AR) FEITO PELO ESTUDANTE A6	187

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – EVOLUÇÃO DAS FORMAS DE MEDIAÇÃO COGNITIVA	70
TABELA 2- EQUAÇÕES DE MAXWELL.....	84
TABELA 3 - IDENTIFICAÇÃO DOS GESTOS REALIZADOS PELOS ESTUDANTES	129
TABELA 4 - RESPOSTAS DO ALUNO-A1 AOS PROBLEMAS NO PRÉ E NO PÓS-TESTE	137
TABELA 5 - RESPOSTAS DO ALUNO-A2 AOS PROBLEMAS NO PRÉ E NO PÓS-TESTE	147
TABELA 6 - RESPOSTAS DO ALUNO-A3 AOS PROBLEMAS NO PRÉ E NO PÓS-TESTE	160
TABELA 7 - RESPOSTAS DO ALUNO-A4 AOS PROBLEMAS NO PRÉ E NO PÓS-TESTE	168
TABELA 8 - RESPOSTAS DO ALUNO-A5 AOS PROBLEMAS NO PRÉ E NO PÓS-TESTE	178
TABELA 9 - RESPOSTAS DO ALUNO-A6 AOS PROBLEMAS NO PRÉ E NO PÓS-TESTE	186
TABELA 10 - ALUNOS QUE UTILIZARAM O GESTO UNIVERSAL #3DMD OU #3DME.....	191
TABELA 11 - ALUNOS QUE UTILIZARAM O GESTO UNIVERSAL #IMD OU #IME.	192
TABELA 12 – ALUNOS QUE UTILIZARAM O GESTO UNIVERSAL #MC.....	193
TABELA 13 - ALUNOS QUE UTILIZARAM O GESTO UNIVERSAL #SCAMD	194
TABELA 14 – ALUNOS QUE UTILIZARAM O GESTO UNIVERSAL #MAA.....	195
TABELA 15 - RESPOSTAS DOS ALUNOS NOS PÓS-TESTES.....	196

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 – FORÇA DE LORENTZ.	85
EQUAÇÃO 2 – FORÇA ELÉTRICA SOBRE UMA CARGA Q.....	85
EQUAÇÃO 3 – FORÇA MAGNÉTICA EXERCIDA SOBRE UMA CARGA Q.....	86
EQUAÇÃO 4 – EQUAÇÃO DO CAMPO ELÉTRICO PRODUZIDO POR UMA CARGA PONTUAL.....	92

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO E INTRODUÇÃO	18
1.1 Caminho percorrido.....	18
1.2 Resumo dos capítulos.....	19
2 JUSTIFICATIVA	23
3 REVISÃO DA LITERATURA	34
3.1 CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES.....	37
3.1.1 Campo Elétrico	38
3.1.2 Campo Magnético.....	39
3.1.3 Indução Eletromagnética	42
3.2 CRÍTICAS AOS CURSOS	46
3.3 PROPOSTAS DIDÁTICAS.....	49
3.3.1 Propostas didáticas que envolvem experimentos	50
3.3.2 Propostas didáticas que envolvem o uso de programas computacionais..	52
3.3.3 Outras propostas didáticas	56
4 REFERENCIAL TEÓRICO	62
4.1 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA – TMC	62
4.1.1 Era digital e a Hipercultura.....	62
4.1.2 Mecanismos internos e externos de mediação	66
4.1.3 Driver’s.....	72
4.1.4 Mapa conceitual da TMC	74
4.1.5 Alguns exemplos de aplicabilidade da TMC	75
4.2 EPISTEMOLOGIA DE LAUDAN	76
4.2.1 Problemas empíricos	78

4.2.2 Problemas conceituais.....	79
4.3 REFLEXÃO TEÓRICA ENTRE A TMC E LAUDAN.....	81
5 FORÇA DE LORENTZ.....	84
5.1 DEFINIÇÃO DOS CONCEITOS.....	89
5.1.1 Conceito de Carga elétrica (Conceito I).....	90
5.1.2 Conceito de Campo Elétrico e Campo Magnético (Conceito II).....	91
5.1.3 Força Elétrica - Carga em um campo elétrico tridimensional (Conceito III).....	94
5.1.4 Força Magnética - A carga em um Campo Magnético Tridimensional (Conceito IV).....	95
5.1.5 Força de Lorentz - A carga em um Campo Elétrico Tridimensional e um Campo Magnético Tridimensional simultaneamente (Conceito V).....	97
6 MÉTODOS MATERIAIS E INSTRUMENTOS.....	100
6.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PESQUISA.....	100
6.2 PRODUÇÃO DE DADOS.....	102
6.3 ANÁLISE DOS DADOS.....	103
6.4 TESTES.....	105
6.5 ROTEIRO DE ATIVIDADES.....	107
6.5.1 Software utilizado para a Simulação Computacional.....	107
6.5.2 Atividades do roteiro de utilização do Software.....	114
6.6 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	122
6.7 ENTREVISTA INDIVIDUAL.....	123
7 ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS.....	126
7.1 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	126
7.2 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS.....	126

7.2.1 Análise dos dados e resultados do aluno A1	130
7.2.2 Análise dos dados e resultados do aluno A2	140
7.2.3 Análise dos dados e resultados do aluno A3	150
7.2.4 Análise dos dados e resultados do aluno A4	162
7.2.5 Análise dos dados e resultados do aluno A5	170
7.2.6 Análise dos dados e resultados do aluno A6	180
8 CONSIDERAÇÕES	190
REFERÊNCIAS	190
APÊNDICES	196
ANEXOS	232



1 APRESENTAÇÃO E INTRODUÇÃO

1.1 CAMINHO PERCORRIDO

A minha formação inicial é em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Pelotas/RS (UCPEL), em 2011, e, durante alguns anos, trabalhei na manutenção portuária do terminal de containers (TECON) em Rio Grande/RS. No porto desenvolvi diversas atividades, tais como a execução de algumas etapas de projetos de subestações. Ademais, trabalhei gerenciando o consumo de energia do terminal por meio de um sistema chamado de Smart32, e na manutenção dos equipamentos portuários que são tipicamente utilizados no transporte de containers, como os guindastes pós-panamax e os guindastes do tipo RTG's.

Após essa experiência, tive a oportunidade de mudar de área e ingressar como professor efetivo no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul), campus Camaquã/RS. Desafio este que foi aceito e, desde então, tenho lecionado disciplinas como Máquinas Elétricas, Eletromagnetismo, Hidráulica, Pneumática e Máquinas Térmicas no curso de Automação Industrial e Eletrotécnica do Instituto.

Diante dos desafios impostos pela docência, vi-me forçado a procurar uma formação na área de ensino. Com isso, cheguei ao curso de doutorado do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PPGECIM – na Universidade Luterana do Brasil – ULBRA/Canoas. A área com a qual eu me vinculei no programa é a linha de pesquisa referente a Tecnologias de Informação e Comunicação para o Ensino de Ciências e Matemática (TIC).

Desde o mestrado, o principal objetivo do meu trabalho tem sido estudar, com base em alguma teoria de aprendizagem, a influência do uso das Tecnologias da Informação e Comunicação no auxílio do processo de ensino-aprendizagem, especificamente, de alguns conceitos de Eletromagnetismo no ensino de Física. O mestrado foi uma possibilidade concreta de unir duas áreas da ciência que tenho afinidade, a Física e a Informática.

Logo a atuação do doutorado se deu na mesma linha, porém o público-alvo foram os estudantes de Licenciatura em Física, pois, diante dos altos índices de evasão dos cursos de Licenciatura e do desinteresse por parte dos estudantes em ser professor, decidiu-se investigar como uma ferramenta de Simulação Computacional poderia influenciar nos futuros professores dessa área.

No período de doutorado, tive a excelente oportunidade de realizar um estágio de doutoramento sanduíche em uma universidade canadense. Por mais que essa experiência tenha sido curta, as contribuições deste tempo na University of British Columbia foram por demais valiosas para a minha formação acadêmica e para a minha vida como profissional.

1.2 RESUMO DOS CAPÍTULOS

Esta tese de doutoramento está proposta em oito capítulos, em que o primeiro compreende esta apresentação, na qual consta um pouco da trajetória que me conduziu até aqui e a descrição de cada capítulo. O segundo capítulo introduz o contexto da presente pesquisa comentando a respeito das simulações computacionais, apresentando, assim, a justificativa, bem como os objetivos, o problema de pesquisa e o referencial teórico utilizado.

O terceiro capítulo aborda a revisão da literatura realizada no início das atividades do doutorado. Foi feita uma revisão a respeito das abordagens que foram dadas a temas relacionados ao Eletromagnetismo nas principais revistas científicas, em um intervalo de 10 anos.

O quarto capítulo aborda os aspectos do referencial teórico-epistemológico utilizado e que dão suporte a esta pesquisa. O referencial teórico escolhido é o da Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), que tem como foco buscar explicar o processamento de informações feito pelo cérebro em mediação com um mecanismo externo de processamento de informações, neste caso, o Simulador Computacional, que dota os estudantes de uma capacidade maior de processamento. Como referencial epistemológico, foi adotada a epistemologia de resolução de problemas de Larry Laudan, que se baseia no fato de que a ciência se desenvolve a partir do processo de resolução de problemas.

Já o quinto capítulo aborda alguns aspectos teóricos a respeito da Força de Lorentz, que é o tema foco desta tese, e nesse capítulo também são definidos os conceitos a serem analisados a partir desse assunto. No sexto capítulo encontra-se detalhada a metodologia utilizada nesta tese. Nessa metodologia buscou-se analisar a linguagem verbal, por intermédio da fala dos estudantes, e a linguagem não verbal que foi a escrita deles nos testes propostos (Apêndice C) e no roteiro de utilização do *Software* (Apêndice D).

Ainda como análise não verbal, foram examinados os registros audiovisuais, após a utilização da Simulação Computacional, na busca por gestos descritivos utilizados pelos estudantes quando eles estavam explicando como resolveram os problemas propostos. Nesse capítulo também é detalhada cada atividade realizada pelos estudantes durante a utilização do Roteiro do Simulador.

O sétimo capítulo traz a análise dos experimentos realizados pelos estudantes da pesquisa e a análise dos seus resultados. Ao todo, seis estudantes de Licenciatura em Física fizeram parte desta pesquisa. Os gestos descritivos, utilizados pelos estudantes, foram identificados e categorizados. Com isso, uma tabela foi organizada e é mostrada e discutida também nesse capítulo. Por último, encontra-se o capítulo oito no qual são apresentadas as considerações finais da pesquisa. Na sequência, encontram-se as referências, os apêndices e os anexos.



2 JUSTIFICATIVA

Em 2013 a revista Science¹ publicou uma edição especial na qual convidou especialistas para explanar quais seriam os desafios mais importantes enfrentados no Ensino de Ciências, seja dentro da sala de aula, em todo o sistema escolar, ou de uma forma social mais ampla.

Em um dos artigos dessa publicação, o Físico Carl Edwin Wieman² escreveu alertando sobre o atual modelo tradicional de ensino que predomina em universidades norte-americanas, comentando que “A maneira como a maioria das universidades de pesquisa ensina ciência na graduação é pior do que ineficaz. É não científica.” (WIEMAN, 2013, p. 292).

Mais recentemente, relacionado à educação básica brasileira, Moreira³ (2017, p.2) corrobora as ideias de Wieman (2013) a respeito das dificuldades enfrentadas pela área de ensino de Ciências quando comenta que “o ensino de Física estimula a aprendizagem mecânica de conteúdos”.

Por mais que esses autores, e outros, tentem explanar sobre os atuais problemas relacionados a essa área da educação, tanto a fundamental como o médio e o superior, é de conhecimento no meio científico que os assuntos relacionados à Física são de difícil compreensão por parte dos alunos e normalmente despertam um grande desinteresse por parte deles.

Qual seria então a solução para mudar esse panorama?

Pleitear mais aulas? Tornar a Física opcional no Ensino Médio? Ensinar conceitos físicos desde as séries iniciais? Melhorar e valorizar o ensino de Física na universidade? Combater o publicacionismo que leva à desvalorização, ao descaso, do ensino na universidade? Ensino centrado no aluno? Aprendizagem ativa? Desenvolver talentos ao invés de selecionar talentos? Desenvolver competências científicas ao invés de tentar encher cabeças com conhecimentos memorizados mecanicamente? Incorporar, de fato, as tecnologias de informação e comunicação no ensino da Física? Laboratórios virtuais? Valorizar os professores de Física? Mudar a formação de professores de Física? (MOREIRA, 2017, p.1)

1 É a revista acadêmica revisada por pares da Associação Americana para o Avanço da Ciência (AAAS) e uma das principais revistas acadêmicas do mundo.

2 É um físico americano e educador da Universidade de Stanford e juntamente com Eric Allin Cornell e Wolfgang Ketterle receberam, em 2001, o Prêmio Nobel da Física.

3 Marco Antônio Moreira é doutor em Ensino de Ciências pela Cornell University/USA, professor emérito do instituto de Física da UFRGS, pesquisador independente da CAPES e autor de vários livros na área.

Diante de todas essas atuais perguntas e no sentido de mudar este panorama, alguns estudos com relação à aprendizagem de conceitos de Física têm sido tema de pesquisa atual na área de Ensino de Ciências, em que alguns autores vêm se destacando no estudo das estratégias que visam a melhorar a relação ensino-aprendizagem envolvendo conceitos Físicos.

Dentre esses autores existem alguns que defendem certos métodos que podem ser eficazes na área de ensino de Física como o *Peerwise*⁴. Este método⁵ é descrito como *Ask – Share – Learn* (perguntar – compartilhar – aprender) e, no primeiro momento, os alunos são desafiados a criar suas próprias perguntas a respeito de um determinado assunto, desenvolvendo alternativas para as respostas. Esse momento incentiva os alunos a refletirem sobre alguns possíveis equívocos, e o fato de explicar a resposta a uma pergunta em suas próprias palavras reforça a compreensão.

No segundo momento, os alunos devem compartilhar as perguntas, as respostas e as explicações criadas por eles em uma plataforma *online* com uma turma para que outros possam tentar resolvê-las e fazer perguntas sobre as alternativas que foram criadas.

Já no último momento, que é o “aprenda”, os alunos recebem o *feedback* imediato ao responder algumas perguntas, incluindo uma justificativa de cada uma das alternativas. As perguntas que foram respondidas podem ser avaliadas quanto à qualidade e dificuldade, e podem ser criados tópicos de discussão associados a cada questão, e a plataforma permite o diálogo entre pares em torno de cada questão. Os alunos também podem solicitar ajuda de seus colegas e podem melhorar as explicações das perguntas.

Outro método de ensino que tem vários adeptos são os chamados *clickers*. Estes *clickers* são conhecidos por serem um sistema de resposta de sala de aula ou de audiência. Essa é uma tecnologia instrucional que permite aos professores coletar e analisar rapidamente as respostas dos alunos às perguntas durante a aula.

Primeiramente o professor coloca uma questão de múltipla escolha para seus alunos por meio de um retroprojetor ou projetor de computador; depois, cada aluno envia uma resposta à pergunta usando um transmissor de mão que transmite um sinal de frequência de rádio a um receptor conectado ao computador do professor. O

⁴ Disponível em: <https://peerwise.cs.auckland.ac.nz>. Acesso em 29 de junho de 2018.

⁵ Várias universidades e institutos federais brasileiros estão cadastrados nesta plataforma.

Software no computador do professor coleta as respostas dos alunos e produz um gráfico de barras mostrando quantos alunos escolheram cada uma das opções de resposta. Dessa forma, o professor pode levantar com os alunos uma discussão dos méritos de cada resposta ou pode pedir aos alunos que discutam a resposta em pequenos grupos.

Além desses, existem outros métodos como o *Peer instruction* (instrução entre pares) que consiste em um método de ensino interativo, baseado em evidência, popularizado no início da década de 1990 por Eric Mazur, um professor da Universidade de Harvard, e ainda o ensino *just-in-time* (na hora certa) que é uma estratégia pedagógica que utiliza o *feedback* entre as atividades em sala de aula e o trabalho que os alunos fazem em casa, antes de começar uma aula, enfim, várias propostas de ensino existem no sentido de melhorar o processo de ensino-aprendizagem dos alunos.

Porém, ao realizar uma simples busca por artigos científicos em revistas da área ou no google acadêmico a respeito do Ensino de Ciências, percebe-se que existem inúmeras publicações que se referem à utilização do computador em sala de aula como auxiliar no processo de ensino.

Com isso nota-se que existem muitos entusiastas dos benefícios da utilização dos computadores no processo de ensino-aprendizagem em Física no meio científico, autores estes que comentam que os computadores provaram ser ferramentas muito úteis para melhorar o processo de ensino e aprendizagem na ciência e, particularmente, na Física.

Vários benefícios podem ser citados, como, por exemplo, ajudam a criar ambientes de aprendizagem ampliando as possibilidades das ferramentas tradicionais de ensino. Devido a essa importância, sabe-se que existem linhas específicas de estudos que se propõem a investigar a utilização dessa ferramenta e seu impacto na sala de aula, assim como o impacto de outras tecnologias também, ou seja, das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

A adoção das TIC em sala de aula tem sido aceita como uma proposta pedagógica por vários professores de escolas e universidades, como, por exemplo, a

University of British Columbia no Canada, Universidade esta que está entre as 40 melhores universidades do mundo⁶.

Nessa universidade, a utilização das tecnologias computacionais é realizada, e demonstrada como um método eficiente em ensino de Física, em todas as aulas (como pode ser visto no ANEXO - A) de uma disciplina que é obrigatória para todos os candidatos a professores de ciências do estado de British Columbia no Canadá. Esta disciplina (*Physics - Secondary: Curriculum and Pedagogy*) faz parte da formação dos professores que vão atuar no ensino de Física naquele estado.

Diante de alguns benefícios reconhecidos pela comunidade acadêmica, a respeito da utilização do computador no ensino de Física, existem as pesquisas referentes ao emprego das Simulações Computacionais disponíveis por meio da utilização do computador. Com relação à definição de Simulação Computacional, Araujo (2005) comenta que:

Em uma simulação computacional representando um modelo físico, o aluno pode inserir valores iniciais para variáveis, alterar parâmetros e, de forma limitada, modificar as relações entre as variáveis; entretanto, ele não tem autonomia para modificar o cerne da simulação (modelo matemático pré-especificado), ou seja, acesso aos elementos mais básicos que a constituem (ARAUJO, 2005, p. 31).

Entende-se que a utilização das Simulações Computacionais tem uma importância particular por permitir a interação dos estudantes com o *Software*, fazendo “perguntas” ao modelo científico contido na Simulação e observando a sua resposta, assim como é possível alterar variáveis e parâmetros desses modelos e observar o comportamento resultante.

Essa possibilidade pode levar a uma situação de aprendizagem em que o aluno efetivamente construa sua própria representação do conhecimento científico. Este trabalho considera que a utilização, de simulações computacionais, de representações utilizadas em Física, pode contribuir para que o aluno (re-)construa suas próprias representações do fenômeno estudado.

Várias propostas têm surgido no sentido de tornar mais acessível, tanto aos alunos como aos professores, os programas computacionais que simulam uma situação em Física. Dentre elas, pode-se citar o movimento chamado de *Open Source*

⁶ Disponível em: <https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/university-british-columbia>. Acesso em 29 de junho de 2018.

Software que são os programas computacionais livres, ou os *Softwares* livres, ou ainda os programas de código aberto.

Como exemplo, pode-se citar o MIT-*OpenCourseWare*⁷, uma iniciativa do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) que disponibiliza *online* vários materiais educacionais utilizados em seus cursos de graduação e pós-graduação feitos por intermédio de plataformas que utilizam os *Softwares* livres.

Ademais, dentro deste movimento de utilização dos *Softwares* livres para o ensino de ciências, existem pesquisadores que criaram uma linguagem de programação de fácil acesso aos professores baseada em JAVA descrita como *Easy Java Simulations* (EJS). Esta linguagem de programação é mais intuitiva do que as demais, pois ela é pensada na ideia de DIY (*do it yourself*) ou faça você mesmo. Permitindo, desse modo, que professores possam criar as suas simulações computacionais sem a necessidade de serem um programador profissional.

A ideia de estas simulações computacionais serem utilizadas no ensino de ciências tem se difundido no meio científico e, com isso, existem algumas plataformas virtuais em que os professores podem disponibilizar as suas simulações e discutir, na forma de um fórum, a sua utilização.

Neste sentido, existe uma plataforma de colaboração que se propõe a receber e disponibilizar somente simulações feitas em EJS chamada de Virtual Physics Laboratory (EJS applets)⁸. Para esta pesquisa, foi utilizado um Simulador Computacional desenvolvido a partir da tecnologia Easy Java Simulation que simula as possíveis interações entre uma carga com um Campo Elétrico e/ou Magnético segundo a Força de Lorentz.

Algumas pesquisas têm defendido a utilização destes *Softwares* livres como recursos para a inclusão social e para a democratização dos benefícios tecnológicos (SILVEIRA, 2005). Ainda, sobre esse tema Rojas *et al.* (2008) comentam sobre o crescimento do emprego dos *Softwares* na atualidade e que o *Software* livre se apresenta como uma grande janela de oportunidades para se alcançar independência na construção dos programas de computador. Inclusive, existem no Brasil algumas iniciativas para incentivar a criação dos chamados centros de competências em

⁷ Disponível em <https://ocw.mit.edu/index.htm>. Acesso em 25 de junho de 2018.

⁸ Disponível em: <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?board=28.0> . Acesso em 25 de junho de 2018.

Softwares livres, pois acredita-se que essa ferramenta é eficaz no apoio ao ensino, pesquisa e extensão (SILVEIRA et al., 2013).

Com relação à investigação do uso do *Software* como alternativa didática para o ensino de conceitos Físicos, sabemos que este tema apresenta poucas, mas importantes contribuições, no entanto, mesmo diante destas tentativas de tornar mais acessíveis os *Softwares* livres, disponibilizando esta importante ferramenta de ensino para professores e alunos, Araujo (2005, p.2) comenta que:

Aplicativos cada vez mais elaborados vêm sendo criados na tentativa de facilitar a construção do conhecimento por parte do estudante: entretanto, são raras as pesquisas educacionais que se ocupam em investigar de que forma o aprendiz relaciona e compreende os conceitos físicos trabalhados com o uso do computador e como extrair um proveito máximo deste tipo de ferramenta.

Outros autores também apontam a ausência de relatos a respeito de pesquisas, tanto no Brasil quanto na América Latina, envolvendo uma abordagem com relação à real mudança na estrutura cognitiva dos estudantes quando estes utilizam uma Simulação computacional envolvendo assuntos relacionados às ciências. Nesse sentido, Ramos (2015) propôs uma revisão bibliográfica a respeito da utilização de *Softwares* de modelagem molecular no ensino de ciências e conclui que:

podemos perceber que praticamente inexitem trabalhos que visam a realizar uma pesquisa aprofundada sobre as modificações cognitivas existentes nos estudantes quando estes se utilizam de *softwares* de modelagem molecular, o que, por si só, justifica a importância de estudos nessa área.

Pieper e Andrade Neto (2016) realizaram uma revisão da literatura da produção científica na área de Ensino de Física sobre alguns tópicos relacionados ao Eletromagnetismo, visando a expor as diferentes maneiras de abordagem desses assuntos e concluíram que:

essas contribuições não se aprofundam no uso de um programa de computador que represente os fenômenos e conceitos eletromagnéticos em três dimensões e, de acordo com muitos referenciais teóricos, um mecanismo de mediação externo que faz uso de representações tridimensionais é capaz de ajudar o processo de internalização de representações tridimensionais por estudantes (PIEPER e ANDRADE NETO, 2016, p. 816).

Historicamente estes conceitos (os que estão relacionados ao tema de Eletromagnetismo em Física) são de difícil assimilação por parte dos alunos e estes,

em geral, apresentam dificuldades no entendimento destes conceitos (GUISASOLA; ALMUDI; ZUBIMENDI, 2004). Dessa forma, assim como outros conceitos das Ciências em geral, os alunos historicamente não atribuem um valor fenomenológico real aos conceitos de relacionados ao Eletromagnetismo, mas observam nestes somente métodos para efetuar cálculos (MOREIRA; PINTO, 2003).

Um exemplo disso é com relação ao aprendizado do conceito básico de Campo Magnético em que Guisasola, Almudi e Zubimendi (2004) realizaram um estudo com uma amostra composta por 70 alunos do último ano do bacharelado em Física, 60 alunos do primeiro ano de Engenharia Técnica Industrial, 65 alunos do segundo ano de Engenharia Técnica Industrial e 40 alunos do terceiro ano de Ciências Físicas. O resultado desse estudo evidencia que os estudantes têm sérias dificuldades em aprender a teoria do Campo Magnético.

Monteiro *et al.* (2010), com relação aos obstáculos enfrentados por alunos e professores no entendimento de conceitos de eletromagnetismo, atribuem ao caráter abstrato destes, as dificuldades inerentes da representação vetorial desses conceitos.

No ensino médio (e em algumas graduações), os conteúdos desenvolvidos antes do Eletromagnetismo se mostram, quase sempre, relacionados a duas variáveis que se encontram dispostas linearmente ou, no máximo, no plano. Quando começa o ensino de Eletromagnetismo, algumas das relações exigem a visualização de três variáveis distribuídas no espaço, ou seja, adquire-se um aspecto tridimensional. Este novo arranjo espacial das variáveis e suas respectivas interações, de certa forma, são diferentes dos modelos anteriores utilizados nos conteúdos já estudados, transformando-se em um entrave pedagógico na aprendizagem do aluno (PAZ, 2007).

Com isso, os conceitos de Física que tratam do Eletromagnetismo estão em um grupo que apresenta considerável complexidade de entendimento, e vários professores concordam que os alunos demonstram dificuldades na aprendizagem das leis e dos fenômenos ligados a ele (PAZ, 2007).

Percebe-se aqui que existe um caminho a ser trilhado com relação à investigação da utilização de Simulações Computacionais Tridimensionais no ensino de temas relacionados ao Eletromagnetismo, tais como a Força de Lorentz por exemplo.

Os temas vinculados ao assunto de Eletromagnetismo (lei de Ampère, lei de Faraday, Força de Lorentz, lei de Gauss e outros) permanecem à espera de um maior

destaque nas produções acadêmicas, pois é consenso de alguns autores (ARAUJO; VEIT, 2004; MARTINS; GARCIA, 2012; ROSA, 2015) que os assuntos de Mecânica Clássica foram os mais explorados nos últimos anos no Ensino de Física.

O tema de eletromagnetismo aqui estudado será a Força de Lorentz, uma vez que esta necessita do estudo das diferentes representações vetoriais que podem existir entre o Campo Magnético e/ou Elétrico e a velocidade da Carga⁹. Esta representação tridimensional será feita por meio de um Simulador Computacional Tridimensional já que estas ferramentas (as simulações) são importantes para desenvolver nos estudantes as habilidades visuoespaciais, tais como ponto fundamental para a compreensão de diversos conceitos científicos (WU et al., 2001; PIEPER, 2014; RAMOS, 2015).

Não é objetivo deste estudo determinar ou defender a utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação por si só, mas investigar o seu uso utilizando uma metodologia de ensino-aprendizagem adequada. Esta pesquisa de doutorado se encontra dentro da linha de pesquisa de Tecnologias de Informação e Comunicação para o Ensino de Ciências e Matemática (TIC), portanto, um dos referenciais teóricos adotados é o da Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) do autor Bruno Campelo de Souza devido ao fato de esta teoria tratar da abordagem em relação à mediação por computador.

A TMC enxerga o papel da importância de um instrumento externo de mediação (computador) para a aprendizagem do ser humano, e consideramos que esse instrumento pode ser importante, porquanto o cérebro humano possui uma dificuldade com as representações em três dimensões de conceitos científicos (RAMOS, 2015).

Com isso pretende-se utilizar o conceito de mecanismo externo¹⁰ (proposto pela TMC) uma vez que ele auxilia na representação das características tridimensionais inerentes aos conceitos de Eletromagnetismo (como a Força de Lorentz), e com isso investigar se esse mecanismo supera as dificuldades de representações tridimensionais auxiliando, assim, a aprendizagem de aspectos de Eletromagnetismo. O referencial teórico-epistemológico de Larry Laudan, que liga o desenvolvimento científico à capacidade crescente de resolver problemas¹¹, também será utilizado nesta pesquisa.

⁹ A Força de Lorentz será explicada mais adiante.

¹⁰ Será utilizado o Computador através de uma Simulação computacional. Este assunto será explicado mais adiante.

¹¹ Será explicado mais adiante.

Os alunos de Licenciatura em Física, que são o foco do projeto desta tese, tratam de problemas referentes à Força de Lorentz nos pré-testes, nos pós-testes (Apêndice C), e no roteiro de utilização do *Software* (Apêndice D). Estes instrumentos, juntamente com as entrevistas gravadas em áudio e vídeo, foram utilizados na coleta de dados da pesquisa.

A integração da Teoria da Mediação Cognitiva proposta por Souza (2004) e a epistemologia da ciência proposta por Laudan (2011) torna-se um interessante referencial teórico para o ensino de Física, porque Laudan aponta que o progresso científico está baseado na resolução de problemas, tanto de natureza empírica quanto conceitual¹², e alguns dos problemas de Eletromagnetismo são mais fáceis de serem assimilados com a utilização de uma Simulação Computacional Tridimensional.

Então, tem-se como proposta principal deste trabalho o estudo da forma como se aprende quando se utiliza, por mediação¹³, um mecanismo externo de processamento de informações, o computador. Diante desse cenário, surge a seguinte pergunta de pesquisa: **De que forma Simulações computacionais tridimensionais, utilizadas didaticamente por licenciandos em Física, auxiliam-nos na resolução de problemas de Eletromagnetismo (resolvidos e não resolvidos) por meio da aquisição de representações mentais (*drivers*)?** Ainda pretende-se responder outras perguntas como: Quais imagens mentais¹⁴ e *drivers*¹⁵ são gerados por estudantes após a utilização de simulações computacionais tridimensionais, de representações científicas?

Ainda temos alguns objetivos específicos, como segue:

- ✓ Identificar as imagens mentais e os “*drivers*” por meio das linguagens verbal e gestual e da análise da escrita nos roteiros, que os estudantes utilizaram para resolver os problemas relacionados à Força de Lorentz após a utilização da Simulação Computacional, segundo a TMC.
- ✓ Investigar se ocorre uma evolução conceitual dos alunos referente ao entendimento de conceitos presentes na Força de Lorentz;

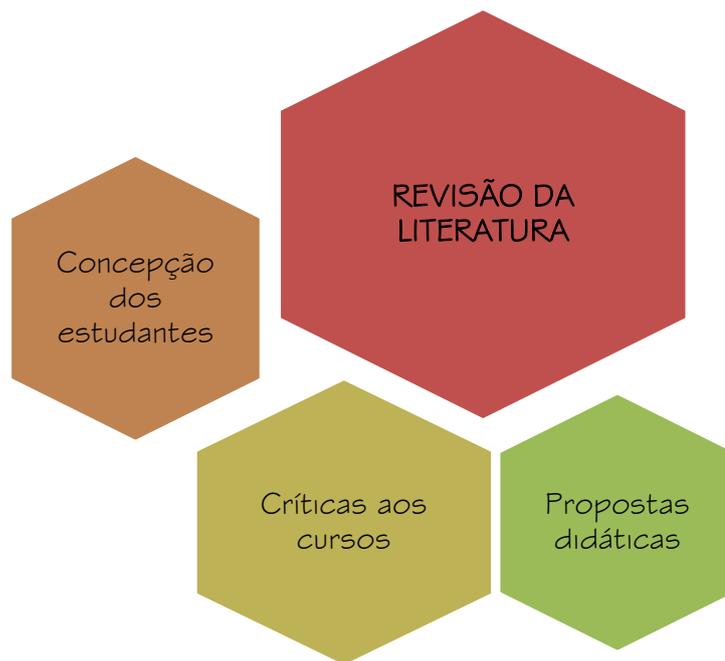
¹² Será explicado mais adiante.

¹³ Será explicado mais adiante.

¹⁴ Entende-se aqui que o aluno pode realizar algumas simulações mentais onde este reproduz mentalmente o que foi visualizado durante a Simulação Computacional. Logo esta não é uma situação nova ao aluno mas sim a reprodução de algo que foi visualizado no *Software*.

¹⁵ Será explicado mais adiante.

- ✓ Investigar a importância das simulações computacionais no processo de ensino aprendizagem, bem como se essas simulações podem auxiliar no desenvolvimento das habilidades relativas à visualização espacial de conceitos Físicos.



3 REVISÃO DA LITERATURA

Como o tema proposto deste trabalho trata do ensino de Física especificamente da possível evolução conceitual causada pela utilização de Simulações Computacionais no ensino de Eletromagnetismo, uma revisão da literatura foi feita com o objetivo de compor o estado da arte deste assunto nos principais periódicos da área.

Esta revisão da literatura cobriu, inicialmente, o período de 1995 a 2015 e consistiu na pesquisa por artigos científicos publicados nas principais revistas científicas da área de Ensino de Ciências dessa área no Brasil e no mundo. As pesquisas foram feitas utilizando-se o Google-Acadêmico, o sistema de periódicos CAPES, o sistema ERIC (*Education Resources Information Center*) e os sites de revistas específicas da área que tiveram como critério, para sua seleção, o sistema de classificação (por Qualis) adotado pela CAPES. Consideramos as revistas com Qualis A1 e A2, e foram encontrados vinte e nove artigos nas seguintes revistas:

- ✓ Ciência & Educação (A1);
- ✓ Enseñanza de las Ciencias (A1);
- ✓ International Journal of Science Education (A1);
- ✓ Investigações em Ensino de Ciências (A2);
- ✓ Journal of Research on Science Education (A1);
- ✓ Research in Science Education (A1);
- ✓ Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (A2);
- ✓ Science & Education (A1);
- ✓ Science Education (A1);
- ✓ Revista Brasileira de Ensino de Física (A1);
- ✓ Caderno Brasileiro de Ensino de Física (A1).

Julgamos ser esse um padrão de qualidade reconhecido em nível nacional, e as revistas como fontes de trabalhos, de considerável relevância para a área de Ensino de Física. A primeira etapa do processo de revisão da literatura consistiu na enumeração dos artigos. Nessa fase ocorreu a leitura dos resumos publicados em todos os números das revistas arroladas.

Já a segunda etapa foi a da leitura e classificação dos artigos em categorias. Essa etapa objetivou a construção de um panorama do conhecimento construído na área, importante tanto para a contextualização do trabalho de pesquisa aqui proposto como na indicação de novas contribuições para a pesquisa em ensino do conceito de termos que envolvem temas relacionados ao Eletromagnetismo.

O estabelecimento de categorias marca a primeira etapa de análise qualitativa que foi submetida à amostra sob a forma dos seus registros (artigos científicos escolhidos), e as categorias “emergiram” da interação entre o olhar do doutorado, na busca de uma revisão bibliográfica para o trabalho de tese e o conteúdo dos artigos em si.

As categorias estabelecidas, em que foram divididos os artigos encontrados, foram as seguintes:

- 1 – Concepções dos estudantes;
- 2 – Críticas aos cursos;
- 4 – Propostas didáticas.

Essas categorias foram estabelecidas a partir da análise dos artigos selecionados, pois “emergiram” da análise dos artigos apresentados e entende-se que elas contribuíram para o objetivo geral da tese.

Optamos por começar pelas concepções dos alunos a respeito de algumas situações que envolvem Eletromagnetismo, pois esse panorama irá mostrar quais as dificuldades e/ou confusões que os alunos fazem a respeito deste conceito.

Como o objetivo da tese envolve a utilização de simulações computacionais, na categoria de Críticas aos Cursos, pretende-se observar se existem críticas e/ou sugestões de formas como as ideias de Eletromagnetismo são apresentadas ou como deveriam ser apresentadas e se o uso de computadores faz parte desse processo.

Nesse sentido, com relação às propostas didáticas, pretende-se levantar as propostas de alguns autores a respeito da forma como o Eletromagnetismo pode ser tratado, ou que recursos devem ser utilizados ou foram utilizados em sala de aula.

A partir dessas categorias, pretende-se aqui também expor as contribuições que os artigos darão à pesquisa, que visa a tratar das possíveis simulações mentais - sob a forma de representações e *drivers* - criadas pelos alunos por intermédio da

interação com as Simulações Computacionais, tendo como referencial teórico a teoria da mediação cognitiva (TMC) proposta por Bruno Campelo de Souza (SOUZA, 2004), que será tratada mais adiante.

Outro referencial adotado, que também será explicado posteriormente, foi o que liga o conhecimento científico à capacidade de resolver problemas, proposto por Laudan (2011).

3.1 CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES

Nesta primeira categoria trabalhou-se com as concepções apresentadas pelos estudantes, com base nos artigos selecionados, com relação ao conceito de Campo e de indução Eletromagnética. Com relação ao conceito de Campo, foram selecionados artigos que discutiam ideias expostas pelos estudantes a respeito do aspecto geral de Campo. Em vista desse fato, essa ideia não foi particularizada, por conseguinte foram selecionados artigos que tratam dos conceitos Campo **Elétrico** e Campo **Magnético**.

As concepções dos estudantes com relação ao conceito de Campo serão aqui tratadas, pois elas são um pré-requisito que os estudantes devem dominar para interpretar adequadamente os fenômenos de Eletromagnetismo (ZUZA; ALMUDÍ; GUIASOLA, 2012).

Por isso esta categoria de artigos que trata da concepção dos alunos sobre a indução Eletromagnética (Lei de Faraday) foi dividida em três subitens que são:

Campo Elétrico;

Campo Magnético;

Indução Eletromagnética.

Esses três itens têm, naturalmente, uma ordenação evolutiva em uma leitura conceitual.

3.1.1 Campo Elétrico

Durante a análise realizada para sintetizar o conhecimento levantado na literatura para o conceito de Campo Elétrico, foram encontrados 5 artigos para compor este item. Os artigos selecionados foram Furió e Guisasola (1997), Furió e Guisasola (1998), Guisasola et al. (2008), Araujo, Veit e Moreira (2007), e o de Park et al. (2001).

O trabalho de Furió e Guisasola (1997) trata a respeito da evolução da formação do conceito de Campo Elétrico. Primeiramente, os autores mostram o perfil “Coulombiano” de Campo Elétrico, que seria similar a uma visão Newtoniana que, muitas vezes, é introduzida de maneira análoga ao Campo Gravitacional.

Outra categoria do perfil de Campo, que esses autores relatam, é o “Maxwelliano” que, segundo observam os autores, supera as cosmologias newtonianas e cartesianas e se estende a todo o espaço circundante da carga. Sendo assim, após este carácter evolutivo da formação de conceitos e das teorias científicas terem sido aceitas, os autores comentam que “[...] a aquisição do primeiro perfil conceitual é um pré-requisito necessário para o segundo perfil.”. Ademais, eles supõem que “os alunos encontram sérias dificuldades em compreender o segundo perfil conceitual [...]” (FURIO; GUIASOLA, 1997, p. 517)¹⁷.

Os autores Furió e Guisasola (1998), por meio de questionários feitos a estudantes de segundo grau e universitários que já tinham tido aulas de Eletromagnetismo, perceberam algumas concepções dos estudantes com relação ao entendimento do conceito de Campo Elétrico. São elas: (a) Os alunos não conseguem diferenciar de maneira clara as magnitudes de força elétrica (F) e intensidade de campo elétrico (E) e com isso os estudantes não chegaram a dominar o perfil de campo elétrico de Maxwell. E ainda (b) os estudantes apoiam o carácter imediato da transmissão da interação elétrica entre cargas e (c) quando estes devem interpretar

¹⁷ A obra de Furió e Guisasola faz amplo uso do referencial teórico de perfil conceitual concebido por Mortimer (1995) [ref: Mortimer, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, vol. 4, n. 3, p. 265-287, 1995.] e tenta resolver o dilema da mudança conceitual que dominou parte da área de ensino de ciências durante a década de 80, admitindo que uma pessoa possa ter diferentes “perfis” para um determinado conceito, com variabilidade natural entre perfis mais ou menos científicos. Como este trabalho é uma revisão das concepções dos estudantes de vários autores, determos-emos, como de praxe nos trabalhos de revisão da área, nos resultados das pesquisas – sem nos deter em explanar cada um dos (vários) referenciais adotados em cada um dos trabalhos para obter estes resultados – para que o foco não seja perdido.

interações eletrostáticas complexas, como na "gaiola de Faraday", eles mais provavelmente usarão o perfil conceitual Coulombiano, prestando atenção às mudanças e à distância, e ignorando o ambiente em que se encontram e a sua geometria.

Em suma, as conclusões dos autores permitem-nos afirmar que a maioria dos estudantes não se utiliza do conceito "Maxwelliano" de campo em situações problemáticas de conflito cognitivo, e persiste em um raciocínio baseado no modelo newtoniano de "ação a distância". Mesmo os estudantes universitários que possuem uma ampla formação em Eletromagnetismo interpretam o conceito de Campo Elétrico a partir da base teórica Coulombiana (FURIÓ; GUIASOLA, 1997, 1998).

Outra concepção dos estudantes, com relação ao conceito de Campo Elétrico relatado por Guisasola et al. (2008), são que as explicações dos alunos para fenômenos que envolvem Campo Elétrico se baseiam na descrição literal de uma fórmula que, muitas vezes, é uma análise incorreta desta. Em muitos casos, os estudantes não concebem o Campo Elétrico associado a uma região do espaço. Um ponto que Guisasola et al. (2008) também citam é com relação aos alunos desconsiderarem o vetor normal à superfície Gaussiana quando se trata de Campo Elétrico.

Nesse sentido, Guisasola et al. (2008) e Araujo, Veit e Moreira (2007) – que utiliza os referenciais teóricos Vygotskyano e Ausubeliano - chegam a um consenso quando comentam que os estudantes confundem Campo Elétrico e Fluxo Elétrico. E, a seu turno, Park et al. (2001) comentam sobre a dificuldade dos estudantes em achar que os isolantes não geram Campos Elétricos, pois não há correntes neles.

3.1.2 Campo Magnético

Com relação às concepções apresentadas pelos estudantes no entendimento do conceito de Campo Magnético, quatro artigos foram selecionados nesta pesquisa. Os textos selecionados foram Furió e Guisasola (1998), Guisasola, Almudí e Zubimendi (2004), Martin e Solbes (2001) e Brandamante e Viennot (2007).

Dessa forma, várias técnicas têm sido utilizadas para sondar as concepções dos alunos. Técnicas de pesquisas diferentes foram utilizadas para produzir resultados diferentes: Guisasola, Almodí e Zubimendi (2004) utilizaram-se da técnica chamada de Fenomenografia. Os autores justificam o uso dessa técnica, porquanto ela se propõe a descrever e explicar a variação nas concepções dos alunos com relação a um tema. Essa técnica é uma abordagem empírica que visa a identificar as diferentes formas qualitativas com que distintas pessoas percebem e compreendem os fenômenos.

Nesse viés, Guisasola, Almodí e Zubimendi (2004), com o uso dessa técnica, identificaram algumas categorias acerca das concepções dos alunos sobre o Campo Magnético. Os autores comentam que uma das categorias identificadas foi a de que, apesar de a maioria dos alunos terem um conhecimento declarativo adequado sobre o assunto, uma parcela significativa destes se recusa a aceitar a existência de um Campo Magnético imóvel, que não se manifesta por um comportamento perceptível.

Em uma segunda categoria, foi identificado que para o fenômeno magnético e a sua interpretação, mesmo sendo identificados, existe uma interpretação “ingênuo-realista” por parte dos estudantes. Nessa categoria o fenômeno magnético é identificado, e a entidade real é atribuída à interação das linhas de Campo Magnético que ocorre como consequência da “atração” e “repulsão” das linhas de campo.

A outra categoria de concepção dos estudantes, no que concerne ao Campo Magnético que Guisasola, Almodí e Zubimendi (2004) identificaram, foi chamada de “Elétrica”. Essa categoria se refere à interpretação que os alunos dão à origem do Campo Magnético a partir da carga elétrica. Os alunos identificam a fonte do Campo Magnético a partir da carga elétrica, quer em movimento quer em repouso, e ainda identificam que as interações magnéticas são explicadas por uma força central Coulombiana.

A última categoria que os autores se utilizaram para explicar as concepções dos estudantes foi chamada de “ampèriana”. Essa categoria permitiu aos alunos a correta identificação da fonte do Campo Magnético com as taxas em movimento, pois eles identificaram que cargas em movimento dão origem ao Campo Magnético. E usaram o modelo de Ampère para explicar a relação entre ímãs e solenoides como fontes do Campo Magnético.

Nesse mesmo sentido, Martin e Solbes (2001) também se propuseram a encontrar algumas concepções dos estudantes com relação ao conceito de Campo Magnético e comentam que a maioria dos discentes ainda pensa em termos de força e não modificam suas ideias anteriores sobre o assunto; com isso o campo é visto como uma força.

Deste modo, Martin e Solbes (2001) concluem que os alunos confundem a teoria newtoniana das interações entre partículas com a teoria de campo. Sendo assim, os estudantes não conseguem relacionar a teoria de campo com as suas muitas aplicações tecnológicas, nem sabem o impacto que esta teve sobre a ciência e a sociedade, desconhecendo suas vantagens para o desenvolvimento da Física.

Brandamante e Viennot (2007) realizaram uma investigação orientada a respeito dos conceitos de Campos Magnéticos e Campos Gravitacionais. Desse modo, apenas uma minoria dos estudantes envolvidos nessa investigação pode diferenciar os dois tipos de interações. Os autores comentam que a ideia de uma mera atração permanece dominante e pode mostrar a ideia de orientação.

Com isso, Brandamante e Viennot (2007), com relação ao entendimento da ontologia do Campo Magnético, concluem que os alunos confundem este com o Campo Gravitacional e atribuem o Magnetismo a uma substância “mágica” intrínseca aos ímãs.

Com base nesses argumentos, percebe-se que as dificuldades dos alunos circundam alguns aspectos comuns. Dentre estes estão os problemas de referência às fontes de Campo Magnético (FURIÓ; GUIASOLA, 1997, 1998, 2004), a compreensão operacional do Campo Magnético (FURIÓ; GUIASOLA, 1998, 2004), dificuldade na compreensão de aspectos ontológicos do Campo Magnético (BRANDAMANTE; VIENNOT, 2007; PARK et al., 2001), dificuldade em distinguir Campos Magnéticos e Campos Elétricos (FURIÓ; GUIASOLA, 2004).

Com base nesses fatos, percebe-se que as maiores dificuldades dos estudantes, com relação ao entendimento de campo, é a confusão deste com Força (FURIÓ; GUIASOLA, 1997, 1998; MARTIN; SOLBES, 2001; BRANDAMANTE; VIENNOT, 2007) e a não associação do campo com uma região no espaço (GUIASOLA; ALMUDI; ZUBIMENDI, 2004).

Dessa maneira, a representação do Campo Magnético se dá na forma de um campo vetorial, e essa visualização é possível por intermédio de alguns Programas Computacionais, devido à invisibilidade do Campo Magnético.

Ademais, sabendo-se que boa parte das dificuldades dos alunos está em distinguir o conceito de campo com o de força, espera-se conceber o Campo Magnético com características “Maxwellianas”, e, com isso, será utilizada uma Simulação que reproduz a representação de Campo (Elétrico e Magnético) contendo as suas principais características na forma tridimensional, uma vez que os autores supracitados deixam uma questão em aberto: Visualizações tridimensionais do Campo Magnético, e de situações que o envolvem, podem auxiliar no aprendizado de conceitos de Eletromagnetismo?

Lembrando que a presente pesquisa se propõe a investigar se, por intermédio de visualizações em simulações computacionais, os estudantes geram imagens mentais e *drivers* do conceito de Campo Magnético e se essas imagens mentais os auxiliam na resolução de problemas. Os artigos aqui pesquisados contribuem para a escolha do *Software* de Simulação a ser utilizado.

3.1.3 Indução Eletromagnética

Ao consultar 32 trabalhos científicos na área de Ensino de Ciências e Ensino de Física entre os anos de 2000 e 2012, Martins e Garcia (2012) convergem com Araujo e Veit (2004), que também consultaram estudos que se referem ao uso de tecnologias computacionais no ensino de Física em nível médio e universitário a partir de 1990, no sentido de destacar a ênfase dos assuntos da Mecânica no ensino de Física.

Com isso, percebemos que o tema Eletromagnetismo foi muito pouco pesquisado no Brasil. É consenso destes autores (ARAUJO; VEIT, 2004; MARTINS; GARCIA, 2012) que os conteúdos de Mecânica Clássica foram os mais privilegiados, permanecendo alguns temas como o Eletromagnetismo à espera de maior destaque nas produções acadêmicas.

A teoria que trata da indução eletromagnética (IE) – Lei de Faraday – é fundamental no programa de física dos ensinos médio e também superior. Não é de se estranhar que essa teoria constitua um capítulo específico nos currículos de ensino médio e de muitos cursos superiores.

Para esta revisão, foram utilizados diferentes trabalhos sobre concepções alternativas dos estudantes, tanto no seu último ano do ensino médio como no ensino superior com relação ao tema IE. Dos artigos selecionados para essa categoria, três são do grupo de pesquisa coordenado por Guisasola que são Zuza, Almudi e Guisasola (2010, 2012, 2013) e os outros artigos são as contribuições de Thong e Gunstone (2008) e Mauk e Hingley (2005).

Thong e Gunstone (2008) realizaram a exploração das concepções de estudantes universitários do segundo ano sobre alguns aspectos do Eletromagnetismo. Os estudantes já tinham feito um curso introdutório de Eletromagnetismo no seu primeiro ano de curso e, na época, estavam fazendo investigações laboratoriais de Fenômenos Eletromagnéticos.

Os autores identificaram, por meio de entrevistas, que três principais concepções alternativas relativas ao tema foram demonstradas pelos estudantes. Estas concepções foram:

- A magnitude da corrente induzida era diretamente proporcional à magnitude da corrente na bobina do solenoide ao lado;
- Deve sempre haver contato entre o fluxo magnético e bobina externa para que qualquer f.e.m. induzida apareça na bobina;
- A diferença de potencial Coulombiano ou eletrostático é a mesma do que uma f.e.m. induzida.

Mauk e Hingley (2005) também se propuseram a investigar as concepções dos estudantes com relação à Indução Eletromagnética, comparando um grupo que passou pelo currículo padrão do ensino de Eletromagnetismo, e verificou que menos da metade dos estudantes investigados implementaram corretamente a Lei de Faraday em contextos acadêmicos e ainda que estes tinham a tendência de associar à IE com o Campo Magnético e não com a variação do Fluxo Magnético.

Zuza, Almudi e Guisasola (2010) investigaram também as concepções dos estudantes com relação à IE no primeiro e terceiro anos de engenharia. A pergunta que norteou os autores para essa pesquisa foi: *Quais são as concepções e formas de pensamento dos estudantes universitários de engenharia sobre a indução eletromagnética?*

Os autores constataram que uma porcentagem significativa das respostas relacionou as linhas do Campo Magnético que atravessam o circuito com a causa do que produz a Força Eletromotriz Induzida confundindo, desse modo, as linhas de campo através do circuito com a variação do Fluxo Magnético por meio deste.

Outra observação feita por Zuza, Almudi e Guisasola (2010) foi que, quando os alunos analisam experimentos de indução eletromagnética envolvendo movimento, a grande maioria tende a confundir a área de integração de circuitos com a área da interação da Lei de Faraday.

A ideia de que os estudantes não fazem distinção entre os níveis interpretativo-macroscópico (Lei de Faraday) e o microscópico (Lei de Lorentz), do fenômeno de Indução eletromagnética, está contemplado em Zuza, Almudi e Guisasola (2010, 2013).

Com isso, alguns aspectos acerca das dificuldades dos alunos apresentam-se da seguinte forma: os problemas de associação da variação do fluxo magnético como a Indução Eletromagnética (THONG; GUNSTONE, 2008; MAUK; HINGLEY, 2005; ZUZA; ALMUDI; GUIASOLA, 2010, 2013); a ideia de que os estudantes fazem confusões entre interpretações feitas por Coulomb e por Maxwell de conceitos que envolvem o Eletromagnetismo (ZUZA; ALMUDI; GUIASOLA, 2010, 2013; THONG; GUNSTONE, 2008), e o não entendimento de que uma corrente elétrica induzida pode ser criada quando variamos a intensidade de uma corrente elétrica em uma bobina perto do circuito (ZUZA; ALMUDI; GUIASOLA, 2010, 2013).

De acordo com nossa avaliação, os conceitos apresentados pelos estudantes, envolvendo o ensino aprendizagem da indução eletromagnética, ocorrem nas ideias-chave dessa teoria científica. Em geral, os estudos analisados mostram que a maioria dos estudantes não tem uma compreensão do modelo de IE, ou da Lei de Faraday. Um número significativo de alunos não explica o fenômeno que ela descreve ou usa o conhecimento apresentado de forma inconsistente.

As dificuldades dos alunos ocorrem nas interpretações feitas por Coulomb e por Maxwell do Campo Magnético e da Lei de Faraday. Como se propõe aqui, a utilização de um Simulador Computacional que demonstra o Campo Magnético de maneira tridimensional, também se propõe o mesmo para a Lei de Faraday. Pois a representação de fluxo magnético, presente na Lei de Faraday, tem similaridades com a representação do Campo Magnético.

Os autores Silva et al., (2014, p. 227) comentam que “a indução magnética \vec{B} é comumente chamada de Campo Magnético”, e que “o número total de linhas de indução que atravessam uma superfície, por sua vez, é denominado de fluxo magnético.”

Assim como a representação do Campo Magnético, a representação do fluxo magnético também se dá por intermédio de um campo vetorial tridimensional. Por conseguinte, pretende-se utilizar simulações computacionais tridimensionais da Lei de Faraday, por esta conter também a necessidade de visualização das linhas de Campo Magnético na forma 3D.

Dessa maneira, como os autores que tratam das concepções dos estudantes de campo, esses autores não comentam sobre a visualização tridimensional do fluxo magnético como possível auxílio ao entendimento da Lei de Faraday.

Uma questão aqui também fica em aberto: Visualizações tridimensionais do Fluxo Magnético podem auxiliar no aprendizado da Lei de Faraday?

Tanto para o Campo Magnético, como para o fluxo magnético e da Lei de Faraday e Lorentz, em suma, de grande parte dos fenômenos magnéticos, é necessária uma visualização tridimensional das representações criadas pela física para uma compreensão desses conceitos. Ora, Wu e Shah (2004) já estabeleceram que a visualização é de grande importância para a compreensão de conceitos científicos em várias áreas, e isso se torna um problema complexo quando a visualização é necessariamente tridimensional.

Dessa forma, fazemos uso da TMC como aporte, indicando que uma melhora substancial na apreensão tridimensional deve advir do uso de ferramentas computacionais que representem o fenômeno eletromagnético com representações tridimensionais do campo. O uso desse ferramental deverá auxiliar o estudante a desenvolver representações internas e *drivers* que, conseqüentemente, deverá auxiliar em uma aprendizagem significativa desses conceitos (WOLFF, 2015).

3.2 CRÍTICAS AOS CURSOS

Utilizando-se do mesmo critério de busca e seleção de artigos acima descritos, nesta categoria, foram enquadrados quatro artigos que têm algum tipo de críticas e/ou sugestões para os cursos que abordam o tema Eletromagnetismo. Os artigos selecionados foram: Silveira e Marques (2012), Dias e Martins (2004), Guerra, Reis e Braga (2004) e Guisasola, Monteiro e Fernandez (2008).

Nesse viés, Silveira e Marques (2012) tiveram como objetivo apresentar dois motores de indução que podem ser facilmente construídos em um laboratório de eletromagnetismo. Os autores fazem uma crítica aos currículos, pois se surpreendem que os motores de indução não estão presentes nos livros de física geral tanto de Ensino Médio como Superior e, também, não são encontrados usualmente em laboratórios de ensino de Física.

Além da inegável importância desse tipo de motor no cotidiano dos alunos, os autores comentam que a utilização do motor de indução, no laboratório de ensino de uma disciplina elementar de eletromagnetismo, permite discutir vários tópicos, tais como: aplicações da lei de Faraday-Lenz, a ocorrência de torque magnético sobre uma espira ou sobre uma bobina com corrente elétrica imersa em Campo Magnético, a defasagem usualmente existente entre a corrente elétrica e a tensão de alimentação em sistemas reativos, a composição de campos oscilantes para se produzir um campo girante, e a utilização de capacitores ou de resistores associados com bobinas para alterar a fase da corrente elétrica (SILVEIRA; MARQUES, 2012, p. 123).

Os autores Dias e Martins (2004) realizaram um estudo a respeito do trabalho experimental sobre eletromagnetismo realizado por Michael Faraday no início do século XIX. Os autores encontraram alguns elementos que poderiam ser utilizados no Ensino de Ciências. Com isso, os autores defendem a utilização do conhecimento histórico sobre o trabalho experimental desenvolvido por Faraday e os motivos que o levaram à descoberta da indução eletromagnética como uma unidade significativa no papel de transmitir aos estudantes uma concepção mais adequada do processo de desenvolvimento da Ciência.

Nesse contexto, Dias e Martins (2004, p. 528) concluem que “Elementos importantes para uma discussão sobre a Ciência devem ser levados para as salas de aula, juntamente com a valorização do trabalho experimental”. Esses autores

corroboram os argumentos de Silveira e Marques (2012) no sentido de colocar nos currículos experimentos relacionados à Lei de Faraday.

O outro artigo analisado foi o de Guerra, Reis e Braga (2004). Nesse artigo os autores constroem uma proposta curricular para o ensino de Eletromagnetismo no ensino médio e destacam a aplicação dessa proposta em uma realidade escolar concreta.

A proposta dos autores deixa explícito um currículo com viés histórico-filosófico que abrange a primeira fase do eletromagnetismo, de 1820 a 1832, e se divide em quatro unidades que são:

Unidade I: Antecedentes do Eletromagnetismo;

Unidade II: O nascimento do Eletromagnetismo;

Unidade III: O eletromagnetismo após Faraday;

Unidade IV: Circuitos elétricos.

Ao aplicar a discussão dessas unidades em um curso de quatro meses, os autores concluíram que, em geral, os alunos mostraram-se bastante motivados com o trabalho e a discussão do desenvolvimento dessa primeira fase do eletromagnetismo em sala de aula que, além de criar espaços de reflexão sobre a ciência, possibilitou a compreensão de questões técnicas internas à ciência, pois:

Conforme o desenvolvimento do eletromagnetismo era discutido, os alunos se confrontavam com ideias filosóficas e teorias científicas, aprendendo, nesse processo, o status atual da ciência estudada, sem que verdades inquestionáveis tenham sido apresentadas (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004, p. 244).

O trabalho de Guisasola, Monteiro e Fernandes (2008) também leva em consideração a história da ciência a respeito da Força Eletromotriz (f.e.m.). Esses autores consideram essa ferramenta como sendo útil para identificar onde estiveram os problemas na construção de conceitos e teorias e, com isso, indicar que as barreiras epistemológicas tiveram que ser superadas e trabalhando nas ideias que permitiram o progresso da evolução histórica do conceito de f.e.m.

Dessa forma, observa-se que alguns autores propõem a discussão em sala de aula sobre a evolução histórica do conceito de Força Eletromotriz como uma forma de melhor compreensão desse conceito. Guisasola, Monteiro e Fernandes (2008)

descrevem sete critérios para Aprendizagem Compreensiva desse conceito, após apresentarem a sua evolução e os múltiplos contextos de teorias dentro do Eletromagnetismo nos quais se enquadra a ideia de f.e.m.

Eles destacam cinco períodos de construção do conceito:

- Entre os séculos XVIII e XIX, quando cientistas como Coulomb, Lagrange, Poisson e Laplace haviam estabelecido as bases da ação a distância;
- No século XIX, quando Volta propõe o fluido galvânico para explicar a eletricidade como associada a uma força exercida no sentido de separar cargas e mantê-las separadas;
- No século XIX, quando se desenvolve o estudo da eletrodinâmica, com Ohm lançando mão das ideias de Forças Eletrostáticas e Kirchhoff (1847) propondo a introdução do conceito de energia para explicar o funcionamento dos circuitos elétricos;
- No século XIX (meados – final), quando Maxwell (1865) trabalha a ideia de Campos e a ideia de Energia;
- Ao longo dos séculos XVIII e XIX, quando o conceito de Força Eletromotriz evolui de uma Força desconhecida para um Trabalho, por unidade de Carga Elétrica, relacionado a um Campo Elétrico não conservativo.

Com relação aos indicadores de Aprendizagem Compreensiva, Guisasola, Almudi e Furió (2005) sugerem os seguintes indicadores:

- Entendimento da Corrente Elétrica como gerada por uma Tensão;
- Entendimento da separação de cargas Elétricas como causa da DDP;
- Entendimento da separação de cargas oriundas de processos químicos como associadas à f.e.m.;
- Aquisição de conhecimento do fazer experimental científico.

Com relação aos currículos de Física, o trabalho experimental sobre o Eletromagnetismo, nesses currículos, é defendido pelos autores aqui selecionados, (SILVEIRA; MARQUES, 2012; DIAS; MARTINS, 2004; GUIASOLA; ALMUDI; FURIÓ, 2005; GUIASOLA; MONTEIRO; FERNÁNDEZ, 2008).

Nessa mesma seara, Guerra, Reis e Braga (2004) corroboram também no sentido de os currículos do ensino de Física terem um viés histórico e filosófico para que os conceitos de Física sejam construídos pelos alunos.

Esses artigos contribuem para a pesquisa aqui proposta, pois pretende-se aqui investigar o uso de simulações computacionais como uma proposta no ensino de Eletromagnetismo, e esse aspecto não foi comentado como uma alternativa pelos autores aqui citados.

Mesmo diante do momento de utilização de tecnologias em que vivemos hoje, porque não houve a crítica ou sugestão de que fosse incluído nos currículos de ensino de Física a utilização de simulações computacionais tridimensionais. Esses artigos se enquadram nessa categoria, porém nenhum deles se propõe a utilizar simulações computacionais na resolução de problemas de eletromagnetismo.

Tornando-se, assim, a pesquisa sobre como a utilização de Simulações Computacionais Tridimensionais auxiliam no aprendizado de conceitos, e resolução de problemas, de eletromagnetismo, uma questão a ser respondida.

Com base nesses fatos, tem-se sedimentado um interesse em abordagens que levem em consideração os aspectos históricos e contextuais (que influenciam diretamente a motivação) e aspectos tridimensionais (que influenciam diretamente a cognição) (RAUPP, 2015) como forma de se empreender um aprendizado integral de conceitos em ciências. Porém neste trabalho iremos apenas nos deter em dissecar os aspectos cognitivos.

3.3 PROPOSTAS DIDÁTICAS

Utilizando-se o mesmo critério de buscas mencionado anteriormente, foram enquadrados neste item os artigos de autores que se comprometeram a escrever sobre algum tipo de proposta didática relacionada ao ensino de conceitos que envolvem o Eletromagnetismo. Foram encontrados vários artigos sobre esse assunto, por isso foram divididos em mais três subcategorias que são:

- Propostas didáticas que envolvem experimentos;

- Propostas didáticas que envolvem o uso de Programas Computacionais;
- Outras propostas didáticas.

3.3.1 Propostas didáticas que envolvem experimentos

Vários artigos, relacionados a propostas de experimentos práticos visando ao entendimento de temas que envolvem o Campo Magnético, foram encontrados durante esta revisão bibliográfica. Foram selecionados sete artigos que tratam desse assunto: Araújo e Anjos (2006), Araújo e Müller (2002), Pimentel et al. (2004), Pimentel e Zumpano (2008), Silva e Laburú (2009, 2013) e Silveira e Varriale (2009).

Aqui será relatado, de maneira resumida, do que se trata os experimentos propostos e as considerações feitas pelos autores sobre esses experimentos.

Araujo e Anjos (2006) construíram uma bobina de Helmholtz propondo a determinação da sensibilidade de outras bobinas de prova colocadas perto desta. O experimento proposto foi capaz de fornecer valores para a sensibilidade de bobinas de provas bastante próximos dos obtidos a partir de cálculos que envolvem os parâmetros genéricos dessas bobinas. Os autores consideram que, devido à natureza intrínseca da Física, esta é “uma área de conhecimento que permite que sejam abordados tanto os aspectos práticos quanto os teóricos a ela relacionados” (ARAUJO; ANJOS, 2006, p. 286).

O trabalho de Araújo e Müller (2002) propôs a utilização de um dispositivo baseado em um transformador como forma de se ilustrar o fenômeno da “levitação magnética” produzida pela indução de uma corrente elétrica em um anel metálico condutor, colocado como secundário do transformador.

Nesse cenário, os autores concluem que:

A ilustração deste fenômeno pode servir como ponto de partida e de apoio para a discussão de alguns importantes aspectos envolvidos com o eletromagnetismo, como a Lei de Indução de Faraday, a Lei de Ampère e a Lei de Lenz (ARAUJO; MÜLLER, 2002, P. 113).

Pimentel et al. (2004), e Pimentel e Zumpano (2008) também propuseram em seus artigos experimentos que tratam da Lei de Faraday, todavia os dois autores

utilizaram como material o disco rígido de computador (*hard disk* - HD) que não é mais utilizado.

Primeiramente, Pimentel et al. (2004) sugeriram algumas aplicações didáticas para os ímãs permanentes existentes no interior dos discos rígidos de computadores. Com isso, os autores descreveram quatro montagens que podem ser preparadas:

- Acelerador magnético linear;
- Pêndulo magnético aleatório;
- Pêndulo imerso em um Campo Magnético;
- Freio Magnético.

Por intermédio dessas montagens os autores propõem o estudo, a observação e a verificação qualitativa das leis que envolvem a mecânica e o eletromagnetismo. Dentre essas leis, encontra-se a Lei de Faraday.

Por conseguinte, Pimentel e Zumpano (2008) indicam que se explore experimentalmente a atuação das correntes de Foucault por meio de um rotor acoplado magneticamente a um disco rígido de computador. Essa montagem, segundo argumentam os autores, “possibilita observar qualitativamente os efeitos dessas correntes que surgem devido ao movimento de um condutor elétrico numa região em que existe um Campo Magnético” (PIMENTEL; ZUMPANO, 2008, p. 194).

Desse modo, torna-se consenso dos autores (PIMENTEL; ZUMPANO, 2008; PIMENTEL et al., 2004) que a ilustração de leis da Física tem um enfoque didático, se proposto de maneira instigante nas aulas de eletromagnetismo, e possibilita que os alunos promovam novas utilizações para os discos rígidos de computadores.

Silva e Laburú (2009) desenvolveram uma montagem do motor de indução de Faraday abrangendo suas duas variantes (uma com haste móvel e ímã fixo e outra com haste fixa e ímã móvel) e, devido às dimensões e o peso do equipamento desenvolvido, conforme afirmam os autores, este encontra-se mais apropriado aos ambientes educativos não formais como museus de ciência e tecnologia ou laboratórios didáticos que propiciem visitas internas para apreciar uma demonstração.

Os mesmos autores apresentaram uma versão compacta desse motor, na primeira das variantes citadas (SILVA; LABURÚ, 2009), mas que se distingue nas dimensões e peso da proposta anterior, sendo de fácil transporte e uso em sala de

aula. Os autores não se propuseram a explicar o funcionamento desse motor ou as leis que envolvem seu funcionamento, no entanto sugeriram que “educadores interessados na demonstração possam mais facilmente realizá-la em sala de aula sempre que julgarem conveniente (SILVA; LABURÚ, 2013, p. 394)”.

O experimento desse motor pode ser utilizado tanto para explicar a lei de Faraday na forma experimental como se utilizar desse experimento para construir uma aula com um viés histórico filosófico proposto por Guerra, Reis e Braga (2004).

Silveira e Varriale (2009) abordam outra aplicação da Lei de Faraday-Lenz que consiste em deixar magnetos cilíndricos rolaem sobre uma rampa de alumínio. Nesse experimento ocorre o fenômeno de frenagem eletromagnética destes imãs que rolam sobre a rampa devido às correntes induzidas na rampa, fenômeno este que envolve a lei de Faraday.

Ademais, os autores comentam que, além de esse experimento ser utilizado para o trabalho com a lei de Faraday, “o estudo experimental de tal tipo de movimento é de interesse em disciplinas de mecânica em nível superior” (SILVEIRA; VARRIALE, 2009, p. 4303-5).

Como pode ser percebido, alguns autores propõem a utilização de experimentos para as aulas de Física, contudo como esses experimentos realmente auxiliam no processo ou melhoram o processo de ensino aprendizagem não é abordado pelos autores, principalmente no que concerne à resolução de problemas.

3.3.2 Propostas didáticas que envolvem o uso de programas computacionais

Nessa categoria encontram-se os artigos que possuem algum tipo de modelagem ou Simulação Computacional relacionado a temas que envolvem o Eletromagnetismo.

Percebeu-se que existem poucos artigos, baseado nos critérios da busca pré-estabelecida acima, para essa categoria. A pouca existência de artigos nessa área também foi verificada por Araujo e Veit (2004) e por Martins e Garcia (2012).

Araujo e Veit (2004) consultaram, a partir de 1990, estudos que se referem ao uso de tecnologias computacionais no ensino de Física em níveis médio e universitário. Os artigos foram classificados em termos das modalidades de uso do computador e dos tópicos de Física abrangidos. Dentro da modalidade de uso do computador referente à Modelagem e Simulação Computacional, com relação ao tópico de Eletromagnetismo, os autores encontraram cinco artigos, todavia, nenhum desses artigos aborda a utilização de *Softwares* computacionais referentes à Lei de Faraday.

Martins e Garcia (2012), de maneira semelhante, consultaram trabalhos científicos na área de Ensino de Ciências e Ensino de Física entre os anos de 2000 e 2012. Os autores selecionaram artigos que apresentaram resultados de pesquisas que foram desenvolvidas, ou que se aplicaram, na utilização de um *Software* no ensino de Física. Eles constataram, com relação ao assunto abordado, que dois artigos se referem ao Eletromagnetismo, porém somente um possui a lei de Faraday como parte do estudo, em por isto, este artigo faz parte desta revisão.

Os artigos encontrados para esta revisão foram: Macedo, Dickman e Andrade (2012), Alves, Amaral e Medeiros Neto (2002) e Dorneles, Araújo e Veit (2012).

Macedo, Dickman e Andrade (2012) relataram, em seu trabalho, o processo de elaboração e aplicação de um Roteiro de Atividades, dirigido a professores do Ensino Médio, no qual são utilizadas simulações computacionais para o ensino de temas selecionados de Eletromagnetismo. As simulações computacionais utilizadas pelos autores foram desenvolvidas pelo projeto de Tecnologia no Ensino de Física (PhET) da Universidade do Colorado¹⁸ nos Estados Unidos.

Os autores procuraram desenvolver atividades nas quais os estudantes devem necessariamente interagir com as simulações, explorando, assim, seus vários aspectos, para responder às perguntas propostas nos pré e pós-testes. Devido a essa interação, eles utilizaram simulações caracterizadas como interativas onde o usuário pode alterar vários parâmetros da Simulação, explorando a situação física representada, verificando as implicações das alterações feitas no comportamento do fenômeno estudado.

¹⁸ Disponível em <http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/translated/pt>.

Dentre as simulações utilizadas pelos autores, está o “Laboratório de Eletromagnetismo”. Esse Simulador mostra situações envolvendo conceitos básicos de eletromagnetismo em duas dimensões. Sendo o público-alvo da investigação alguns alunos do ensino médio, os autores concluem que:

[...] é possível apresentar conteúdos básicos de Eletromagnetismo de uma maneira atraente e ilustrativa, propiciando, assim, um maior envolvimento dos alunos nas aulas de Física. O uso de simulações, quando bem conduzido pelo professor, proporciona um ambiente de estímulo, motivação e envolvimento, melhorando, assim, o processo de ensino e aprendizagem (MACEDO; DICKMAN; ANDRADE, 2012, p. 609).

Da análise desses argumentos surge uma questão: como seria a proposta de utilização de simulações em duas dimensões, envolvendo conceitos “avançados” de eletromagnetismo como a lei de Faraday, representada de diversas maneiras como o movimento relativo de um ímã perto de uma bobina ou na forma de um transformador ou, então, as diferentes maneiras de se representar a Lei de Ampère, onde a representação dessas situações se dá na forma tridimensional?

Os outros dois artigos tratam de temas que envolvem o Eletromagnetismo, contudo não envolvem a Lei de Faraday, mas, devido a sua relevância no assunto, alguns comentários dos autores aqui serão descritos.

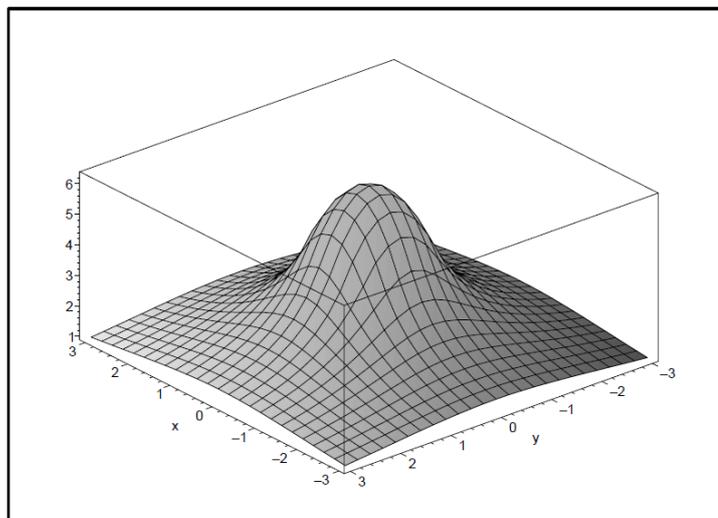
Alves, Amaral e Medeiros Neto (2002) relatam a experiência de utilizar computação algébrica (CA¹⁹) como ferramenta de aprendizagem do estudante em um curso básico de teoria eletromagnética. O *Software* escolhido pelos autores para efetuar as simulações foi o Maple²⁰.

O objetivo dos autores consistiu em motivar a aplicação da técnica de programação via computação algébrica, a quem tiver interesse no uso de computador em educação. Uma das respostas, por intermédio de um gráfico, em uma seção de Maple, mostra a possibilidade de visualização do potencial em uma esfera carregada, e o gráfico pode ser girado permitindo, dessa forma, a sua visualização por vários ângulos (Figura 2).

¹⁹ Manipulação de símbolos matemáticos, feita no computador, de acordo com as regras abstratas da matemática simbólica.

²⁰ Disponível em <<http://www.maplesoft.com>>.

Figura 2 - Gráfico da função $V(x, y, 0)$ para uma esfera uniformemente carregada de raio = 1, com centro na origem.



Fonte: Alves, Amaral e Medeiros Neto (2002, p. 207)

Um fato observado pelos autores é a resposta dos programas que se mostra em tempo real, quase instantaneamente, o que permite concentrar, em um lapso pequeno de tempo, um número grande de respostas a tais simulações, mostrando, dessa forma, vários resultados.

Mesmo os autores não se propondo a verificar a “eficiência pedagógica” do uso da programação via computação algébrica, eles observaram que:

[...] com esta acumulação rápida de resultados facilita notoriamente o desenvolvimento da “intuição” dos alunos em relação aos assuntos estudados. Este desenvolvimento rápido da intuição nos pareceu não usual se comparado como o que ocorre em média em ciclos de aprendizagem que não incluem a programação dos conceitos ensinados. Também nos pareceu acima da média o interesse pelo conteúdo da disciplina, assim como a precisão no uso da linguagem matemática (ALVES; AMARAL; MEDEIROS NETO, 2002, p. 212).

Percebe-se aqui a importância das simulações em três dimensões para o estudo de eletromagnetismo e a necessidade de mais pesquisas na área sobre o impacto cognitivo da utilização desse tipo de Simulação Computacional.

O trabalho de Dorneles, Araújo e Veit (2012) propõe a integração entre a proposta didática de utilizar experimentos no ensino de Física, defendida por alguns autores no item 3.3.1 deste trabalho, e a proposta de atividades computacionais como

ensino de Eletromagnetismo em Física geral, sugerida por Macedo, Dickman e Andrade (2012), e Alves, Amaral e Medeiros Neto (2002).

Os resultados do trabalho de Dorneles, Araújo e Veit (2012) apontam que essa integração sugerida pode proporcionar aos alunos uma visão epistemológica mais adequada sobre o papel dos modelos teóricos em Física e das atividades computacionais e experimentais nos processos de aprendizagem, e também promover a interatividade e o seu engajamento no próprio aprendizado. Outro resultado interessante desta pesquisa é que

[...] os alunos que usaram simulações computacionais no lugar de equipamentos de laboratório tiveram melhor desempenho na resolução de questões conceituais sobre circuitos simples e, surpreendentemente, desenvolveram maior habilidade na manipulação de componentes reais (DORNELES; ARAÚJO; VEIT, 2012, p. 101).

As Simulações Computacionais utilizadas pelos autores foram analisadas em duas dimensões, isso para situações envolvendo conceitos básicos de eletromagnetismo.

Com base nesses aspectos, percebe-se a pouca pesquisa a respeito da utilização de Simulações Computacionais no ensino de Física envolvendo temas de Eletromagnetismo, e principalmente de como estes recursos computacionais podem auxiliar no processo de ensino aprendizagem.

Mesmo que este seja um assunto pouco estudado, os autores aqui pesquisados mostram-se favoráveis à utilização de recursos computacionais. Isto vai ao encontro da necessidade de uma pesquisa mais aprofundada sobre o assunto e da utilização de referenciais teóricos que fundamentam a utilização de tais recursos.

3.3.3 Outras propostas didáticas

Os artigos selecionados para esta categoria foram Alves et al. (2011) e Oliveira, Veit e Araujo (2015). Esses dois artigos não se enquadram nas duas categorias citadas anteriormente, porém abordam propostas didáticas envolvendo o eletromagnetismo, e serão discutidos aqui.

Alves et al. (2011) realizaram um trabalho que propõe uma metodologia de ensino individualizado, muito utilizada na década de 70, que é o Sistema Personalizado de Instrução (SPI), de Fred Keller. Os autores utilizaram essa metodologia em um curso introdutório de Eletromagnetismo com alunos do terceiro semestre de um curso de graduação em Física.

Segundo sustentam os autores, na elaboração de cursos que utilizam essa metodologia, é requerido um maior esforço, pois é necessário o provimento de um *feedback* sistemático ao desempenho dos alunos. Com isso, na análise do uso dessa metodologia, os autores comentam que:

Do ponto de vista de execução se não houver monitores disponíveis para prover o *feedback* sistemático, o professor pode assumir tal tarefa, sendo necessárias adaptações para tal (ALVES et al. 2011, p. 11).

Com relação a essas adaptações os autores destacam que:

Tais adaptações podem levar em conta o uso de novas tecnologias para criar mecanismos que facilitem a elaboração e correção das avaliações, principalmente em disciplinas onde as avaliações envolvem longos cálculos a serem verificados (ALVES et al. 2011, p. 11).

Também no sentido de apresentar uma proposta de ensino alternativo aos professores com relação ao tema de Eletromagnetismo, Oliveira, Veit e Araujo (2015) apresentam uma experiência didática no ensino de conceitos fundamentais de Eletromagnetismo, em turmas de nível médio, utilizando o método de Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*), associado ao Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*).

Com relação a esse relato de experiência, os autores consideram que:

[...] que tenha sido uma experiência bem sucedida na medida em que os alunos demonstraram: envolvimento nas atividades didáticas que foram propostas e motivação para aprender; apreciaram as modificações introduzidas na sala de aula e aprenderam os conceitos físicos trabalhados em um nível superior ao alcançado pelas aulas tradicionais, conforme mostrado pela comparação do ganho normalizado entre os grupos (OLIVEIRA; VEIT; ARAUJO, 2015, p. 199).

Diante de um descontentamento em relação à baixa eficiência, em termos de aprendizagem do emprego de métodos tradicionais de ensino caracterizados pelo foco quase exclusivo na transmissão de informações, os autores argumentam no sentido de que os relatos de suas propostas didáticas mostram-se favoráveis diante

do método tradicional de ensino, no entanto, o real impacto ou as mudanças que ocorrem na estrutura cognitiva, quando estes métodos são utilizados durante o ensino de Eletromagnetismo, é uma pergunta em aberto que instiga pesquisadores da área.

Dessa forma, percebe-se que existem relatos de experiências de aplicações didáticas, em que os *Softwares* de Simulação de eletromagnetismo são utilizados como ferramenta principal ou de auxílio às atividades de sala de aula ou de laboratório, e, também, relatos de atividades práticas propostas por alguns autores e, ainda, a integração entre a utilização de experimentos no ensino de Física juntamente com as atividades computacionais (DORNELES; ARAÚJO; VEIGT, 2012).

Em grande parte dos trabalhos que relatam o uso dos *Softwares*, os resultados alcançados pelos alunos estão acima daqueles que se esperariam sem a mediação da ferramenta computacional.

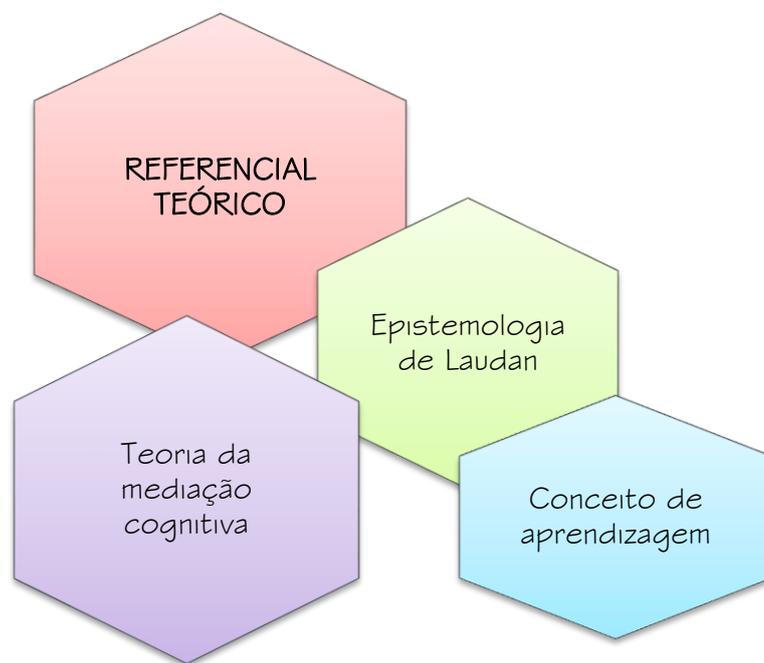
Em vista disso, não foram encontradas, dentre os parâmetros escolhidos em nossa revisão de literatura, publicações que indiquem investigações no sentido da utilização dessas ferramentas de forma integrada nos currículos dos cursos de Física e/ou áreas que têm o Eletromagnetismo como base.

E ainda estas contribuições não se aprofundam no uso de um programa computacional que represente os fenômenos e conceitos eletromagnéticos tridimensionalmente, e, de acordo com o referencial teórico que adotamos, um mecanismo externo de mediação que faça uso de representações tridimensionais é crucial para que haja o desenvolvimento de representações e *drivers* tridimensionais pelos estudantes.

Ademais, observa-se que existem muito poucas pesquisas publicadas em Ensino de Ciências sobre as simulações computacionais no ensino de Eletromagnetismo em Física, o que se contrapõe a outras áreas como a educação matemática, onde é possível se encontrar uma discussão mais vantajosa e que conta até com encontros e congressos específicos referentes à utilização de Simulações Computacionais para a matemática.

A área de Ensino de Física poderia beneficiar-se de investigações teoricamente e metodologicamente fundamentadas sobre as aplicações didáticas de simulações computacionais, no sentido da larga utilização dessa poderosa ferramenta, nos currículos de cursos de Física e/ou áreas que possuem o Eletromagnetismo em seu

currículo, verificando, assim, o seu impacto durante o processo de ensino aprendizagem.



4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA – TMC

4.1.1 Era digital e a Hipercultura

Atualmente estamos vivendo em um momento de muitas transformações, ademais, não há como negar que estamos em uma outra Era. Já faz alguns anos que não vivemos mais na chamada “Era industrial” que foi caracterizada principalmente pela mecanização da produção e conseqüentemente causou uma reformulação da concepção de trabalho e em muitas sociedades nas quais vivemos.

O trabalho atual assemelha-se muito pouco à forma mecânica adotada na Era Industrial e percebe-se que atualmente estamos passando por um outro momento. A utilização do termo referente a este tempo em que estamos vivendo foi feita por algumas pessoas, dentre elas, Peter Drucker²¹, que a chamou de “Era da informação”.

Essa Era é caracterizada pela rápida mudança da indústria tradicional que a Revolução Industrial trouxe com a industrialização para uma economia baseada na tecnologia da informação (TI). Assim como a Revolução Industrial está associada ao início da “Era Industrial”, a Revolução Digital possui uma relação com o início da “Era da Informação” que também é conhecida como “Era Digital”.

Atualmente estamos inseridos nesta Era Digital em que a utilização de computadores, smartphones, tablets, smart tevês, gps e tantos outros dispositivos eletrônicos, com acesso à internet ou não, é feita comumente por vários tipos de pessoas das mais distintas classes sociais.

Podemos dizer que existe uma certa popularização das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) e também uma facilidade no acesso à internet atualmente.

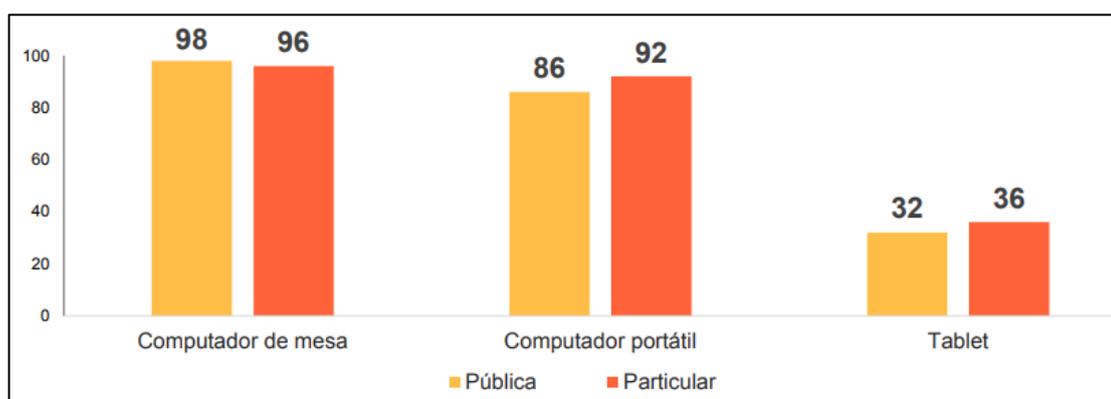
²¹ Foi um consultor de gestão americana, educador e autor, cujos escritos contribuíram para os fundamentos práticos e filosóficos das modernas empresas de negócios. Ele também foi um líder no desenvolvimento da educação gerencial, além disso, inventou o conceito conhecido como gerenciamento por objetivos e autocontrole. Por tudo isso, ele tem sido descrito como "o fundador da administração moderna".

Podemos evidenciar esses aspectos afirmando que no Brasil existe uma instituição (Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação – Cetic) que possui a missão de monitorar a adoção das tecnologias de informação e comunicação (TIC), em particular, o acesso e uso do computador, da Internet e dos dispositivos móveis.

Essa instituição implementa as decisões e os projetos do Comitê Gestor da Internet do Brasil (Cgi) e, periodicamente, disponibiliza os dados do seu trabalho. Os Resultados abaixo, mostrados na forma de gráficos, mostram (%) alguns dados referentes à última coletiva de imprensa que a empresa concedeu a respeito do assunto.

Pode ser observado na Figura 3 que o computador, seja ele de mesa ou mesmo portátil, está disponível a 98% dos alunos das escolas públicas brasileiras, e o laptop está acessível a 92% dos alunos de escolas particulares.

Figura 3 – Gráfico da disponibilidade de computadores nas escolas no Brasil



Fonte: Internet²²

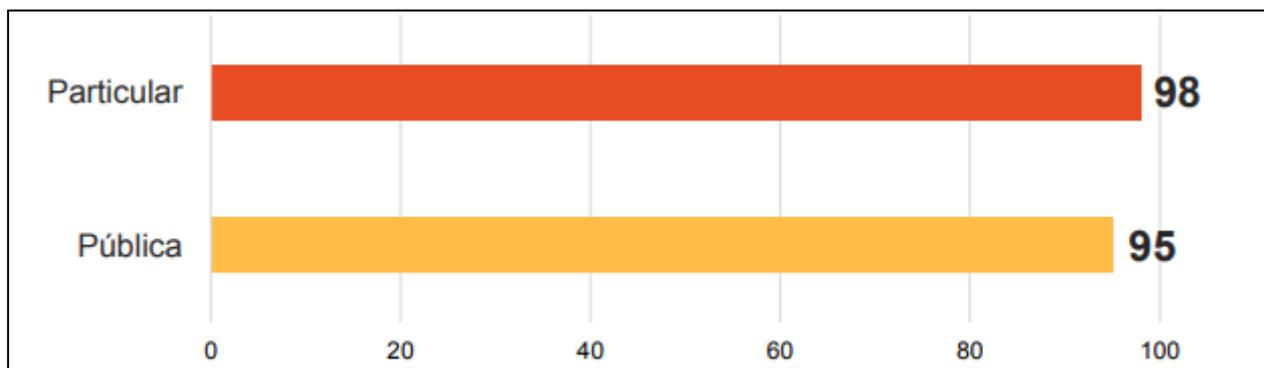
Outro indicador mostrado pela CETIC em seu relatório foi o referente à disponibilidade de internet nas escolas no Brasil, (como pode ser visto abaixo na Figura 4), e este mostra que 98% das escolas particulares e 95% das escolas públicas brasileiras disponibilizam o acesso à internet para os seus alunos.

Com isso, este momento não pode ser ignorado pois os estudantes de hoje estão imersos em uma cultural digital e são influenciados pelo enorme fluxo de

²² Disponível em: http://www.cetic.br/media/analises/tic_educacao_2016_coletiva_de_imprensa.pdf . Acesso em 11 de junho de 2018.

informações disponíveis na internet e pela interatividade imediata proporcionada por esses recursos digitais a um simples toque em uma tela ou a um clique de um *mouse*.

Figura 4 - Gráfico da disponibilidade de internet nas escolas no Brasil



Fonte: Internet²³

Alguns autores tentam explicar este atual momento em que vivemos, e um conceito bem difundido no meio acadêmico a respeito dos usuários dessas tecnologias digitais é a ideia de “nativos digitais” e “imigrantes digitais” (BENNETT, MATON e KERVIN, 2008). Prensky (2001) caracteriza esses dois grupos como sendo: “todos os jovens que cresceram desde o advento generalizado do computador pessoal podem ser considerados nativos digitais, e, por eliminação, todas as pessoas mais velhas são imigrantes digitais”.

Para Prensky (2001), os estudantes de hoje representam as primeiras gerações que cresceram usando videogames, computadores, câmeras de vídeo digitais etc. O autor caracteriza:

Agora fica claro que como resultado deste ambiente onipresente e o grande volume de interação com a tecnologia, os alunos de hoje pensam e processam as informações bem diferentes das gerações anteriores. Estas diferenças vão mais longe e mais intensamente do que muitos educadores suspeitam ou percebem. (...) Nossos estudantes de hoje são todos “falantes nativos” da linguagem digital dos computadores, vídeo games e internet. (PRENSKY, 2001. p. 1).

Outros estudos surgiram na tentativa de validar essa caracterização dos indivíduos que se utilizam das tecnologias nesta Era digital como, por exemplo, o

²³ Disponível em: http://www.cetic.br/media/analises/tic_educacao_2016_coletiva_de_imprensa.pdf . Acesso em 11 de junho de 2018.

estudo de Margaryan, Littlejohn e Vojt (2011) intitulado: “Os nativos digitais são um mito ou realidade? Uso de tecnologias digitais por estudantes universitários” – (Tradução nossa). Nesse artigo, os autores citam vários estudos sobre o uso de tecnologias digitais em diferentes países e concluem que:

Estes estudos empíricos, realizados em diferentes países e em diferentes tipos de universidades, estão chegando a conclusões muito semelhantes, sugerindo que o rótulo de “nativos digitais” pode ser demasiado simplista para explicar as formas com que os jovens fazem uso das tecnologias (MARGARYAN, LITTLEJOHN e VOJT, 2011, p. 431, tradução nossa).

Por mais que exista essa discussão de quem seriam esses indivíduos, os impactos dessas tecnologias em nossas sociedades estão sendo estudados por vários cientistas. Dentre eles, Souza (2004) busca explicar os impactos da introdução das novas tecnologias da informação e da comunicação na sociedade em termos das mudanças cognitivas e individuais resultantes desse processo.

Em sua tese de doutorado, na área de psicologia cognitiva, intitulada “A Teoria da Mediação Cognitiva: Os impactos cognitivos da Hiper cultura e da Mediação Digital”, o psicólogo Bruno Campello de Souza desenvolve a tese baseada na ideia de que a inteligência humana não resulta apenas de um funcionamento cerebral, mas também da complementação desse funcionamento pelo processamento auxiliar realizado por estruturas externas ao indivíduo (mediação), o que inclui objetos, artefatos, grupos sociais e culturas.

O autor defende a existência de uma evolução histórica nesses mecanismos externos em que a estrutura externa ao indivíduo mais “evoluída” são as tecnologias da informação e comunicação (computadores, *tablets* e *smartphones*). Ou seja, o papel das TIC no pensamento humano pode ser considerado como uma forma nova e melhorada de mediação cognitiva, segundo o autor.

Ainda diante desta Era digital em que vivemos, o autor também desenvolve a 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)

4.1.2 Mecanismos internos e externos de mediação

Souza (2004) aborda a ideia de que o ser humano depende da sua capacidade de perceber, lembrar, categorizar, aprender, planejar, julgar, elaborar, concentrar, abstrair, raciocinar e criar para otimizar o uso dos seus limitados recursos corporais. Porém, segundo o autor, o *homo sapiens*, é “limitado” e:

o equipamento cerebral humano não pode ser o suficiente para, por conta própria, fornecer o imenso poder computacional que seria necessário para assegurar a sobrevivência e o bem estar da espécie humana. (SOUZA, 2004, p. 50)

Nesse sentido, ao defender a ideia da “limitação” do ser humano, o autor explica que a principal vantagem competitiva deste é o seu talento para produzir, gerenciar e aplicar conhecimento a seu próprio favor.

Todavia, como o ser humano faz isso? De que forma ele deixaria de ser limitado? O autor sugere que o ser humano “aumentou” a sua capacidade cognitiva, observando que:

Sabendo-se que o córtex cerebral é limitado, mas que a humanidade superou tais limites, deduz-se que a expansão da capacidade cognitiva dos seres humanos se dá através de alguma forma de processamento extracerebral de informações (SOUZA, 2004, p. 58).

Essa complementação cerebral foi o que deu ao ser humano a capacidade de evoluir, sendo capaz de prevalecer devido a esse talento para gerenciar e aplicar o conhecimento a seu favor por intermédio desses meios “externos” aos indivíduos.

A partir dessa ideia, o autor da TMC tenta explicar os impactos das tecnologias digitais construindo alguns conceitos fundamentais para o entendimento dessa teoria, tais como o conceito de “mecanismos externos de mediação” e, ainda, os de “mecanismos internos de mediação”.

Assim, a TMC apresenta uma visão da cognição humana como sendo um fenômeno de processamento de informações e que boa parte desse processamento

é feito fora do cérebro por meio dos mecanismos externos de processamento de informações.

No entanto, além da concepção dos conceitos de “mecanismos internos” e dos chamados “mecanismos externos”, Souza (2004) teve como ponto inicial dessa construção a ideia de Mediação. Nesse sentido, ele comenta que o uso dos dispositivos eletrônicos, tais como computadores, *tablets* e *smartphones* se dá por intermédio desse processo de mediação. Logo, é apropriada a opinião de que esses dispositivos se tornem os mecanismos externos de mediação e que os mecanismos internos de mediação são construídos com o passar do tempo e com a necessidade da aquisição de novas competências para o uso de tais dispositivos.

O autor então justifica que o processo de mediação feita pelo cérebro humano já existia antes da utilização dos dispositivos eletrônicos, na tentativa de superar as limitações cognitivas do cérebro humano.

A primeira forma de mediação identificada pelo autor foi uma mediação instintiva definida como “mediação psicofísica”. No sentido de elucidar essa forma de mediação, Souza (2004) salienta o fato de o ser humano estar constantemente recebendo estímulos do ambiente onde ele se encontra, e, a partir disso, surgem várias formas de respostas associadas aos instintos humanos.

O autor então comenta, com relação à mediação psicofísica, que ela ocorre:

quando os mecanismos externos de mediação resumem-se a eventos físicos, químicos e biológicos fortuitos que agregam alguma forma elementar de processamento extracerebral de informação à relação sujeito-objeto, e os mecanismos internos de mediação constituem-se basicamente de esquemas sensório-motores. (SOUZA, 2004, p.72)

Este processamento de informações extracerebrais, dado a partir de uma mediação psicofísica, seria então as situações em que as componentes materiais do ambiente contribuem para uma percepção mais eficaz dos aspectos do ambiente. Como exemplos básicos deste tipo de processamento extracerebral via mediação psicofísica, Souza (2004) comenta que:

inclui fenômenos como o uso de ecos para a audição de sons distantes ou de baixa intensidade, do vento para se captar aromas à distância, da vibração do solo para se detectar a aproximação de uma manada de búfalos, de pegadas para rastrear uma presa, das mudanças de coloração nas folhagens para se identificar as mudanças de estação e muito mais. Todos esses casos,

sejam eles intencionais ou fortuitos, representam instâncias básicas de mediação cognitiva (SOUZA, 2004, p. 74).

A segunda forma de mediação defendida pelo autor, sendo essa mais evoluída do que a primeira, é a “mediação social”. Sendo o ser humano uma espécie que vive em grupos, ele gera padrões e comportamentos semelhantes e interações que podem ser diretas ou indiretas entre os indivíduos desse grupo. Isso, segundo Souza (2004), gera uma importante vantagem cognitiva, pois os membros de um grupo dispõem não apenas de suas próprias interações, ou das suas capacidades perceptivas, mas utilizam-se também indiretamente daquelas dos demais componentes do grupo.

Com isso, essa interação em grupo pode ampliar o alcance perceptivo de todos os membros do grupo, porquanto a quantidade de processamento extracerebral pode ser compartilhada pelos demais integrantes desse grupo. Souza (2004, p. 77), a respeito desses aspectos, afirma que: “o grupo social passa a servir de mecanismo externo de mediação que, sob o ponto de vista de cada indivíduo, realiza uma imensa e importante quantidade de processamento extracerebral de informações.”

Podem ser citados como exemplos de mediações sociais as interações entre alunos e professores em sala de aula, quando um aluno repete o que ele viu em sala de aula, ou comenta que “o professor disse”.

Ainda, a terceira forma de mediação identificada pela TMC é a “mediação cultural”. Dessa forma, como a mediação anterior se baseia na interação advinda de diversos sujeitos em um mesmo ambiente, o processo de mediação cultural se baseia nos agrupamentos maiores e mais duradouros de seres humanos.

Ademais, o autor comenta que, por essa interação ser maior e mais duradoura, ela tende a tornar mais sofisticadas as formas de interação entre os indivíduos, levando à “criação de formas mais eficazes de comunicação e relacionamento”, Souza (2004, p. 77).

A mediação cultural considera que a utilização da linguagem, escrita ou falada, e seus respectivos desdobramentos implicaram a possibilidade de expressar acontecimentos e experiências, além da poderosa forma de armazenamento de conhecimento, conteúdos e experiências.

Também considera que a linguagem e sua possibilidade de armazenamento, por meio de textos escritos, trazem consigo uma lógica própria que pode envolver

categorizações complexas de ideias e conceitos e leva a práticas sociais cada vez mais sofisticadas, conforme o avanço cultural.

Então, alguns exemplos da mediação cultural seriam a utilização de um livro, ou uma imagem como o planeta terra azul ou ainda associar uma cama elástica às olimpíadas ou uma determinada placa de sinalização a um significado.

Por último, o autor da TMC expõe a forma mais avançada de mediação, qual seja a “mediação digital”, pois, como comentado antes, a Revolução Digital trouxe novas formas de convivência social, da organização da produção na sociedade e influências na cognição humana.

Com base nesses aspectos, Souza (2004, 2006, 2012) denomina este momento em que vivemos de Hiper cultura, momento em que os mecanismos externos de mediação incluem os dispositivos computacionais e seus impactos culturais.

Conforme Campello de Souza (2004, p.85), “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”, o que Lévy (1999) chama de Cibercultura.

Esta evolução das formas de mediações é justificada pelo autor quando ele explica que a necessidade de superar as limitações cognitivas dos sujeitos é definida pela seleção natural e que, portanto, a criação de mecanismos de mediação faz parte de um processo de evolução, sendo que cada etapa inicial é incorporada às demais:

Assim sendo, espera-se que tal desenvolvimento ocorra através de uma sucessão de etapas, sendo impulsionado por um processo aleatório de tentativa e erro, estocasticamente caminhando em direção a estruturas de mediação cada vez mais poderosas e sofisticadas. Com base no que se conhece atualmente acerca dos impactos de fatores ambientais na cognição humana é possível inferir que os mecanismos de mediação cognitiva evoluíram de uma natureza psicofísica para uma dimensão social e, em seguida, para um paradigma cultural. Afinal, isso não apenas corresponde à ordem em que tais coisas emergiram na história da humanidade, mas também à ordenação da menor para a maior complexidade. (SOUZA, 2006, p. 154).

Com isso, segundo a teoria proposta, podemos ver na Tabela 1 abaixo a descrição feita por Souza (2004, 2006, 2012) das diversas formas possíveis de mediação e a sua evolução.

Tabela 1 – Evolução das formas de mediação cognitiva

Ordem de emergência	Forma de Mediação	Mecanismos Externos	Mecanismos Internos	Processamento Extracerebral
1 ^a	Psicofísica	Física do Objeto e do Ambiente	Sistemas Sensoriais	Percepção
2 ^a	Social	Interação em grupo	Habilidades sociais	Percepção e Memória
3 ^a	Cultural	Sistemas Simbólicos e Artefatos	Conhecimento Tradicional e/ou Formais	Percepção, Memória, Categorização e Aprendizagem
4 ^a	Hipercultural	Tecnologias da Informação	Conceito e Habilidades do domínio da TI	Percepção, Memória, Categorização e Aprendizagem, Julgamento, Elaboração, Tomada de decisões

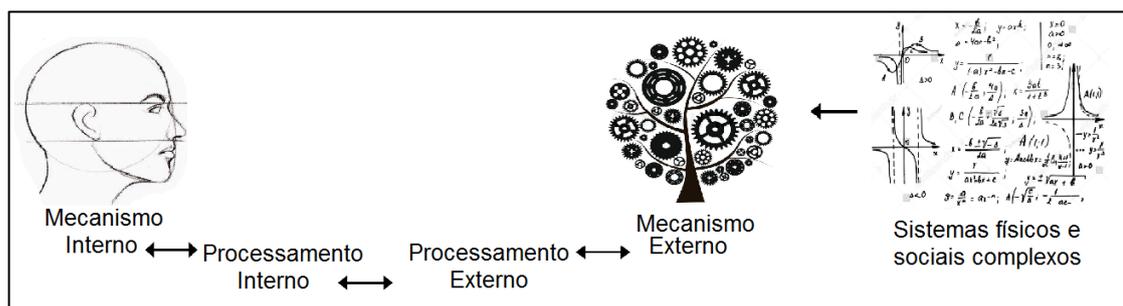
Fonte: (SOUZA, 2004, 2006, 2012)

O autor defende que o surgimento da hipercultura fez com que nosso cérebro começasse a pensar de forma hipercultural e, a partir disso, criou-se um pensamento hipercultural, caracterizado por competências capazes de interagir com dispositivos desse meio, e que apresenta:

“lógica matemático-científica; representações visuais; formas elaboradas de classificação e ordenamento; estratégias eficazes para identificar o essencial e desprezar o resto; algoritmos eficientes para ‘varrer’ ou ‘folhear’ grandes conjuntos de informações e conhecimentos” (SOUZA, 2004, p.87).

Toda essa conjuntura de novas competências necessárias para dar conta desta nova cultura digital (hipercultura) propicia a ocorrência de um processo de mediação, e, com isso, novos conhecimentos são adquiridos. Os conceitos da teoria de Souza (2004, 2012) podem ser vistos na Figura 5.

Figura 5 – Processamento cognitivo por mediação com estruturas do ambiente



Fonte: Souza (2004, 2012)

Esta Figura mostra um esquema de como ocorre o processamento cognitivo por meio de estruturas do ambiente, que fornecem uma capacidade adicional de processamento de informações.

O sistema cognitivo básico envolve apenas o sujeito cognoscente, o ambiente e o objeto cognoscível. Nesse sentido, autor conclui que é no ambiente que residem os mecanismos adicionais (mecanismos externos).

O objeto cognoscível ou item físico é o conceito, problema ou outra situação que o indivíduo utiliza para construir conhecimentos. O processamento interno é dado por intermédio da fisiologia cerebral que executa a operação lógica. Já os mecanismos internos são a estrutura mental que gerencia os algoritmos, códigos e dados que permitem a conexão, interação e integração entre o processamento interno do cérebro e o processamento extracerebral feito pelas estruturas no meio ambiente, e este trabalha como um “*driver* de computador”.

No artigo intitulado “*Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age*” (Colocando a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede ao teste: avaliação de um quadro para entender a era digital - Tradução nossa), é apresentada uma abordagem da teoria, onde o autor comenta as vantagens da disseminação das TIC e seus benefícios sobre a capacidade cognitiva humana, como ele conclui:

“A teoria da Mediação Cognitiva em Rede demonstra haver um efeito positivo no uso disseminado da tecnologia e suas implicações socioculturais (Hiper cultura) sobre a capacidade cognitiva individual” (SOUZA et al., 2012, p. 2329).

4.1.3 *Driver's*

Além dos conceitos de “mecanismos internos”, “mecanismos externos”, “mediação”, Souza (2004, 2012) constrói um conceito muito importante para a TMC que é a ideia de “*driver*”.

Pelo viés da ciência da computação, um *driver* pode ser compreendido como um programa de computador que opera ou controla um tipo específico de dispositivo que está conectado a esse computador, como uma impressora, por exemplo. Esse *driver* fornece uma interface de *Software* para os dispositivos de hardware, permitindo que sistemas operacionais e outros programas de computador acessem as funções do *hardware* sem precisar saber de detalhes precisos sobre o hardware que está sendo usado.

A relação que o autor traz para a sua teoria por meio da palavra *drive* é a de que esses *drivers* permitem a comunicação entre a estrutura cognitiva do sujeito e o mecanismo externo de processamento de informações de maneira que ambos possam interagir, e o sujeito possa entender o funcionamento desse mecanismo externo a ponto de compreender e internalizar as informações nele contidas.

Daí os mecanismos internos é que tornam possível a utilização dos mecanismos externos e são chamados pelo autor de *drivers* (e incluem as competências necessárias para o uso eficaz dos mecanismos externos), tecendo uma semelhança à computação, própria a uma abordagem baseada na metáfora computador-cérebro da psicologia cognitiva.

Os *drivers* são dispositivos que, segundo o autor, 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:

É razoável supor que os mecanismos internos de mediação funcionem através da produção de um *shell*, ou seja, de uma "máquina virtual" que "espelha" ou "representa" o mecanismo externo. Trata-se de um processo necessário para o estabelecimento de uma interface entre o cérebro e o mecanismo extracerebral, mas também permite, até certo ponto, uma "emulação" ao menos parcial dos mecanismos externos em questão. Isso implica, portanto, numa internalização parcial dos mecanismos externos, o que ajuda a explicar por que as habilidades permanecem aumentadas mesmo quando os mecanismos externos estão ausentes. (SOUZA, 2004, p. 81-82).

Isso 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. Esse ganho de processamento de informações é considerado pelo autor como aquisição de conhecimentos.

Souza et al. (2012) resume esse processo desta 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 esses 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* em um 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, isso 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 esse 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, por intermédio do processo descrito na Epistemologia Genética de Piaget como “equilibração” (SOUZA et al., 2012, p. 2-3, tradução nossa).

Com isso, o autor sugere que a mediação cognitiva ocorre se e somente se existirem estes mecanismos internos que dão suporte à mediação e, com este suporte, a capacidade de comunicação e controle em relação a eventuais mecanismos de processamento extracerebral, e a essa ligação lógica se dá o nome de *drivers*. De outra maneira, os “*drivers*” seriam a intermediação entre o conjunto de conhecimentos que o indivíduo detém dentro de si com as habilidades que lhe permitam o acesso e o uso de mecanismos externos.

4.1.5 Alguns exemplos de aplicabilidade da TMC

Já faz algum tempo que a TMC tem sido utilizada como referencial teórico de trabalhos de pesquisa na área do ensino de ciências. Dentre eles, pode-se destacar o estudo de caso envolvendo isomeria geométrica (RAUPP, et al., 2010). Nesse trabalho, estudantes de ensino médio utilizam *Softwares* de construção de modelos moleculares, e o objetivo do estudo é “investigar como ocorre a evolução da capacidade representacional dos estudantes de química de nível médio após o uso de um Software de construção de modelos moleculares” (ibid., p. 20). A metodologia do trabalho envolveu três etapas: uma revisão dos conteúdos sobre isomeria geométrica; um pré-teste envolvendo resolução de problemas de representação dos isômeros trabalhados; o uso do *Software* ChemSketch 10.0 (ACDLabs) e um pós-teste similar ao pré-teste, após o uso do *Software*.

O aporte teórico da TMC permitiu aos autores a análise do conteúdo dos dados coletados no experimento no sentido de detectar uma possível evolução na habilidade de representação das moléculas, causada pela utilização do *Software*:

Esta evolução, quando detectada, é, de acordo com a TMC, causada pela equilíbrio de elementos inerentes à lógica externa de representações assimiladas durante a interação com o *software* e a posterior acomodação de suas lógicas pré-existentes em função da assimilação das lógicas recém-assimiladas. Estas lógicas lidam com a maneira de representar moléculas embutida no programa (lógica assimilada) e pelo estudante (lógica pré-existente). (RAUPP et. al., 2010, p. 23)

Após a análise dos dados, os autores concluem:

Ao interagirem com os conteúdos científicos em sala de aula, os estudantes constroem representações mentais que representam uma internalização dos invariantes operatórios com os quais interagem. Mais ainda, tais representações vêm acompanhadas de verdadeiros teoremas-em-ação que refletem os padrões e a dinâmica dos objetos com os quais se interage. (...) O uso deste *software* aparentemente auxilia na internalização destas representações, após o estudante fazer uso delas externamente, pela internalização das representações e dos invariantes operatórios associados com a construção de modelos 3D e a rotação destes modelos. Eventualmente, isso leva a uma acomodação, onde os invariantes e representações pré-existentes na estrutura cognitiva do estudante são transformados em função da nova lógica que o *software* apresenta. (ibid., p. 31).

Outro exemplo é um artigo que trata da internalização de conceitos envolvendo Eletrostática (ROCHA; ANDRADE NETO, 2013). Nesse trabalho, uma atividade de Simulação Computacional de Eletrostática foi aplicada a dois grupos de estudantes de engenharia, sendo sete estudantes do grupo experimental e seis do grupo controle.

A metodologia do trabalho envolveu cinco etapas: um pré-teste envolvendo resolução de problemas de Eletrostática com todos os alunos da amostra; a entrevista desse pré-teste; o uso do *Software* de Simulação on-line "Taxas e campos"; a aplicação do pós-teste similar ao pré-teste, após o uso do *Software*, e, por último, a entrevista do pós-teste.

O aporte teórico da TMC permitiu aos autores a análise do conteúdo dos dados coletados no experimento no sentido de detectar uma possível evolução na habilidade de representação das moléculas, causada pela utilização do *Software*:

A análise do pós-teste em conjunto com a entrevista do pós-teste evidência uma clara mudança conceitual por parte dos estudantes do grupo experimental. Enquanto os alunos do grupo controle continuam com *drivers* psicofísicos culturais, os estudantes do grupo experimental, que foram submetidos à intervenção do *software*, evidenciam uma mudança cognitiva devido a esse processo, caracterizada pela aquisição de *drivers* hiperculturais (ROCHA; ANDRADE NETO, 2013, p. 6).

O uso da expressão "Mediação Cognitiva" justifica-se porque a mediação é considerada não como apenas uma fonte de viés ou como um "filtro" perceptivo, mas, sim, como um processo cognitivo extracerebral complexo e, ao menos, parcialmente autônomo. Em resumo, faz-se uma distinção entre o conceito tradicional de mediação (interações sujeito-objeto que se dão necessariamente por meio de um canal ou espaço transformador) e o novo conceito que está sendo introduzido (utilização de componentes extracerebrais presentes no ambiente como suporte cognitivo).

4.2 EPISTEMOLOGIA DE LAUDAN

Larry Laudan graduou-se em Física pela Universidade de Kansas em 1962, tendo obtido seu Ph.D. em Filosofia pela Universidade de Princeton em 1965. Na construção da sua epistemologia, Laudan evolui as suas ideias a partir de outros autores como Thomas Kuhn e Imre Lakatos.

Dessa forma, Laudan apresenta sua epistemologia como um resgate da racionalidade da ciência, tratando deliberadamente de evitar alguns dos pressupostos-chave que produziram o que ele chama de “colapso da análise tradicional”.

Esse autor possui algumas frases que podem resumir a sua epistemologia, dentre elas, “A ciência é, em essência, uma atividade de resolução de problemas” (LAUDAN, 1986, p. 39)²⁴, ou ainda, como em outra publicação: “*A ciência se caracteriza como uma atividade de resolução de problemas*” (LAUDAN, 2011, p. 17).

Com relação a esses problemas científicos, o autor não define o que é um problema científico, ele apenas relativiza o conceito, referindo-se às teorias que resolvem os problemas, pois:

Se os problemas constituem as perguntas da ciência, as teorias constituem as respostas. A função de uma teoria é resolver a ambiguidade, reduzir a irregularidade à uniformidade, mostrar que o que acontece é inteligível e previsível; é a esse complexo de funções que me refiro quando falo de teorias como soluções para problemas (LAUDAN, 2011, p. 20)

O autor segue fundamentando a sua epistemologia tendo como base duas teses, sendo a Tese 1 definida como:

A primeira e essencial prova de fogo para uma teoria é se proporciona respostas aceitáveis a perguntas interessantes; em outras palavras, se proporciona soluções satisfatórias a problemas importantes (LAUDAN, 2011, p.20).

E tendo na Tese 2 a ideia de que:

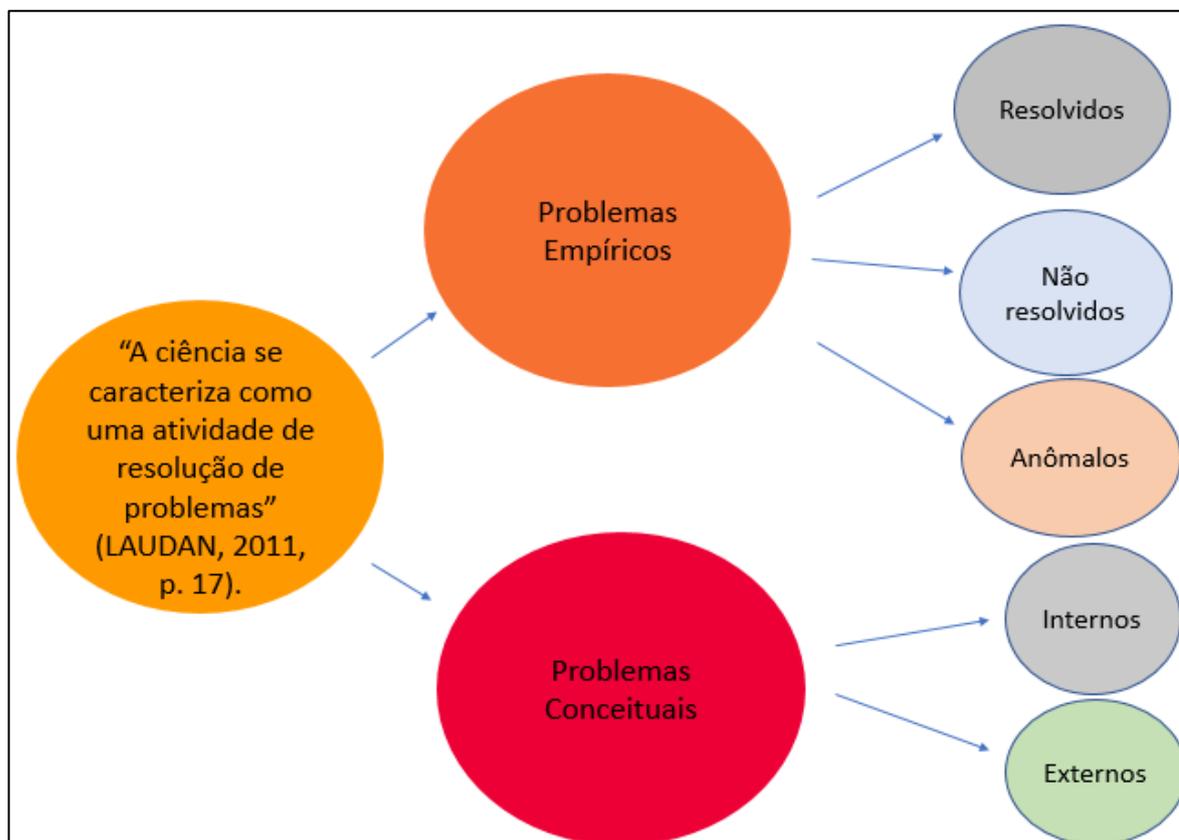
Para avaliar os méritos das teorias, é mais importante perguntar se constituem soluções adequadas a problemas relevantes do que se são “verdadeiras”, estão “corroboradas”, “bem confirmadas” ou são justificáveis de qualquer outro modo no âmbito da epistemologia do momento (LAUDAN, 2011, p.20).

O autor apresenta uma classificação dos tipos de problemas que as teorias científicas devem resolver que são os problemas empíricos e os problemas

²⁴ Sua perspectiva epistemológica sugere que não há uma diferença fundamental entre a ciência e outras formas de indagação intelectual.

conceituais. E dentro desta classificação estão algumas subclassificações como pode ser observado na Figura abaixo.

Figura 7 – Classificação dos problemas segundo Laudan (2011)



Fonte: (LAUDAN, 2011)

4.2.1 Problemas empíricos

Laudan define os problemas empíricos como sendo os problemas que são mais fáceis de exemplificar, como, por exemplo, um corpo pesado que cai na direção do centro da terra e, ao realizar perguntas, tais quais como? e por quê? este fato acontece seria uma maneira de apontar os problemas empíricos que envolvem essa situação.

Assim, podemos citar várias situações que podem englobar os problemas empíricos, como a semelhança entre a descendência de plantas e animais com os

seus genitores ou o fato de alguns líquidos evaporarem quando são expostos à atmosfera.

Laudan explica os problemas empíricos de um modo mais geral como sendo: “Qualquer coisa presente no mundo natural que pareça estranha ou que, de alguma maneira, necessite de explicação (LAUDAN, 2011, p. 22)”.

O autor subdivide os problemas empíricos em três tipos com relação à função que eles têm na avaliação das teorias, são eles:

Problemas não resolvidos – são aqueles problemas empíricos que ainda não foram adequadamente resolvidos por nenhuma teoria e estimulam, desse modo, o progresso da ciência, pois resolvê-los é uma das formas de tornar científicas as teorias.

Problemas resolvidos – são os que foram resolvidos adequadamente por uma teoria e são considerados como resolvidos quando os pesquisadores deixam de considerá-los como uma pergunta não respondida dentro do contexto da pesquisa, pressupondo a existência de uma teoria que, aparentemente, resolve esse problema.

Problemas anômalos – são aqueles em que se encaixam os problemas que uma determinada categoria não resolveu, porém uma ou mais teorias concorrentes, sim. Ou, ainda, essas anomalias são resolvidas por teorias alternativas ao invés de conhecidas. A existência de anomalias em uma teoria, segundo as práticas científicas tradicionais, deve forçar o pesquisador a abandonar a teoria e considerar os dados empíricos que as geraram como dados inconsistentes em relação a ela. No entanto, Laudan se opôs a essa prática, caracterizando-a como um obstáculo conceitual que dificulta a compreensão do papel das anomalias, pois a ocorrência de uma irregularidade, de fato, levanta dúvidas quanto à sua validade, mas não obriga o pesquisador a abandoná-la. Ademais, as anomalias não precisam ser incompatíveis com as teorias.

4.2.2 Problemas conceituais

Os problemas conceituais, segundo Laudan, são aqueles problemas apresentados por uma ou mais teorias sendo características dessas teorias não possuir uma existência independente das teorias que as apresentaram, nem sequer aquela autonomia limitada que os problemas empíricos às vezes possuem.

Na tentativa de diferenciar os problemas conceituais dos problemas empíricos, o autor propõe que:

Se os problemas empíricos são questões de primeira ordem acerca das entidades substantivas de algum setor do saber, os conceituais são questões de ordem superior acerca da fundamentação das estruturas conceituais (por exemplo as teorias) que foram concebidas para responder às questões de primeira ordem (LAUDAN, 2011, p. 68).

Laudan (2011) diferencia os problemas conceituais como os internos e os externos. Os problemas conceituais internos são aqueles que surgem, por exemplo, quando uma teoria se torna inconsistente, autocontraditória ou também quando existe nela alguma ambiguidade ou alguma circularidade.

Já os problemas conceituais externos são aqueles que acontecem entre teorias, por exemplo, quando uma mostra inconsistência perante a outra, ou a aceitação de uma torna pequena a possibilidade de aceitação da outra. Ocorre também quando uma teoria que deveria reforçar a outra é meramente compatível.

Ao propor este modelo centrado na resolução de problemas, Laudan considera que os problemas empíricos ou conceituais resolvidos são a unidade básica do progresso científico. Com isso, o objetivo da ciência é o de ampliar a esfera de problemas empíricos resolvidos, ao mesmo tempo em que deve ocorrer uma redução ao mínimo dos problemas anômalos e conceituais. A evolução poderá ser medida com base na contabilidade dos problemas.

Ou seja, Laudan esboça o seu modelo de progresso da ciência baseado na resolução de problemas como sendo:

(1) o problema resolvido - empírico ou conceituai - é a unidade básica do progresso científico; e (2) o objetivo da ciência é ampliar ao máximo o alcance dos problemas empíricos resolvidos, ao mesmo tempo em que reduz ao mínimo o alcance dos problemas anômalos e conceituais. (...) A efetividade total quanto à solução de problemas é determinada por meio da avaliação do número e da importância dos problemas empíricos que ela resolve, deduzindo o número e a importância das anomalias e dos problemas conceituais que ela gera. (LAUDAN, 2011, p. 93-94).

A epistemologia da ciência de Laudan vem sendo utilizada como suporte epistemológico em estudos atuais na área de Ensino de Física. Segundo Morini (2009), é possível relacionar o ensino de Física e a epistemologia de Laudan a partir de três pontos:

- I. A identificação de um problema;
- II. A motivação para a busca de uma solução ao problema;
- III. As anomalias e complexidade do processo de mudança de tradição de pesquisa e da mudança conceitual.

4.3 REFLEXÃO TEÓRICA ENTRE A TMC E LAUDAN

Como já comentado anteriormente, esta pesquisa possui como foco principal Investigar o impacto das Simulações Computacionais nas habilidades relativas à visualização espacial da Força de Lorentz e se elas auxiliam no aprendizado de conceitos e resolução de problemas desta área de Eletromagnetismo no ensino de Física.

E para tal investigação, utilizamos como referencial teórico a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) de Bruno Campelo de Souza, e optamos também por escolher Larry Laudan que liga o desenvolvimento científico à capacidade crescente de resolver problemas.

Entendemos que a integração entre a Teoria da Mediação Cognitiva juntamente com a epistemologia de resolução de problemas de Laudan aplicados ao Ensino de Física por intermédio da utilização das Simulações Computacionais conferem a esta pesquisa um interessante referencial teórico-epistemológico.

Podemos definir, então, que a aprendizagem se caracteriza como a aquisição de novas representações e *drivers* de origem hipercultural por meio da utilização do Simulador Computacional pelos estudantes gerando, desse modo, um ganho de competência para eles e que possibilita aos alunos um ganho na capacidade de resolução de problemas. E esses problemas podem ser, tanto problemas considerados já resolvidos, quanto não resolvidos, ou tanto problemas simples quanto problemas mais complexos.

Entendemos também que, quando um estudante consegue resolver um problema científico considerado anômalo (ao estudante), que não era possível de ser resolvido com o corpo teórico que este possuía, ele passa a ser considerado resolvido a partir do ganho de competência adquirido pelas ferramentas de Simulação Computacional utilizadas pelo estudante.

Ou até mesmo os problemas considerados como resolvidos podem, em certos casos, ser melhor resolvidos a partir de um ganho de processamento de informações propiciado pela interação dos estudantes com a Simulação Computacional.

Nesse caso, o estudante tende a adotar esse novo marco teórico por compreender que ele é mais efetivo na resolução de problemas. Esse fato, para Laudan, é um dos marcos do progresso científico e, para nós, um dos marcos do aprendizado em ciências.

Assim, acreditamos que a aquisição de representações científicas, por intermédio de *drivers* hiperculturais, pode capacitar o estudante para melhor resolver problemas que envolvem temas de Eletromagnetismo que foram desenvolvidos e evoluídos pelos cientistas durante décadas.

FORÇA DE LORENTZ

Definição
dos
conceitos

5 FORÇA DE LORENTZ

Em 1860 James Clerk Maxwell mostrou que era possível fazer uma descrição completa dos fenômenos eletromagnéticos por meio de um conjunto de apenas quatro equações. Assim como Newton se baseou no trabalho prévio de outros para formular as suas famosas leis da Mecânica, Maxwell também fez uso de formulações existentes sobre fenômenos elétricos e magnéticos feitos por outros físicos. De modo particular, cabe citar a longa série de investigações experimentais e teóricas feitas por Michael Faraday.

A importante contribuição de Maxwell foi então a de mostrar que essas equações formariam a base da interpretação de todos os fenômenos eletromagnéticos de campo. Podemos ver as quatro equações de Maxwell como segue na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2- Equações de Maxwell.

Forma Integral	Lei
$\oint_S \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$	Gauss/Eletrostática – O fluxo elétrico total através de qualquer superfície fechada é igual à carga líquida dentro da mesma superfície dividida por ϵ_0 .
$\oint_S \vec{B} \cdot \hat{n} dS = 0$	Gauss/Magnetismo – Expressa que o fluxo magnético através de uma superfície fechada é nulo e expressa a inexistência de monopólios magnéticos.
$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$	Ampère/correntes estacionárias – Estabelece que, quando um condutor é percorrido por uma corrente elétrica, surge um Campo Magnético ao redor do condutor.
$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$	Faraday – Estabelece que uma força eletromotriz induzida somente aparecerá em uma espira sem fonte quando houver variação temporal do fluxo magnético através dessa espira.

Fonte Silva et al. (2014)

Alguns anos depois da publicação das Equações de Maxwell, em 1892, Hendrik Antoon Lorentz, publicou o que o autor chamou de "força ponderomotiva", a hoje denominada **Força de Lorentz**. Essa força é definida como sendo “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 FL, chamada Força de Lorentz” (SILVA et al., 2014, grifo nosso), e é calculada pela seguinte equação:

Equação 1 – Força de Lorentz.

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

Fonte Silva et al (2014)

Onde:

q = carga

\vec{v} = Velocidade da carga

\vec{E} = Vetor Campo Elétrico

\vec{B} = Vetor Campo Magnético

Como pode ser visto na equação acima, Lorentz define a força que atua sobre uma carga como sendo composta por duas forças, uma de origem elétrica, e outra de origem magnética.

Força elétrica.

A primeira parte da equação que define a Força de Lorentz é referente à Força Elétrica. Esta é a força exercida por um campo elétrico em uma carga pontual q e é proporcional à carga e ao campo na posição ocupada pela carga, e tem a direção deste. Logo, temos:

Equação 2 – Força Elétrica sobre uma carga q

$$\vec{F}_E = q\vec{E}$$

Fonte Silva et al. (2014)

Força Magnética

Já a segunda parte da equação se refere à Força Magnética que atua sobre uma carga quando esta é exposta a um Campo Magnético. A força exercida por um Campo Magnético sobre uma carga pontual q , que possui uma velocidade \vec{v} , é proporcional à carga, ao Campo Magnético e à velocidade da carga. A direção da força magnética é perpendicular ao plano definido pelo Campo Magnético e pela velocidade da carga, e é dada pela expressão:

Equação 3 – Força magnética exercida sobre uma carga q

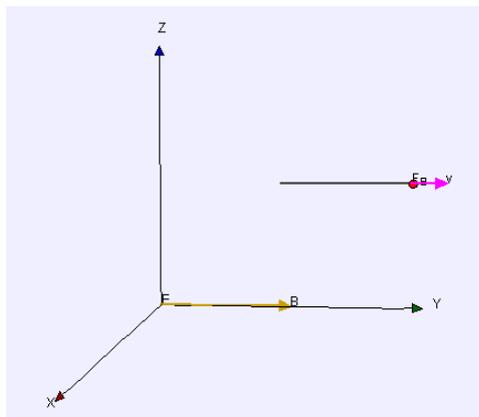
$$\vec{F}_M = q (\vec{v} \times \vec{B})$$

Fonte Silva et al. (2014)

Pode-se perceber que existe uma relação de tridimensionalidade na representação dessas equações a respeito da força elétrica e da força magnética. O produto vetorial existente na força magnética torna a representação dessa força dependente da relação entre a componente da velocidade e do campo.

Podemos perceber essa tridimensionalidade matematicamente, por meio da Equação 1, e graficamente em algumas situações-limite. Uma destas corresponde à situação em que a velocidade da partícula tem a mesma direção do Campo Magnético (Figura 8). Nesta situação, a força magnética é nula e, se a partícula estiver livre de outras forças, o seu movimento será retilíneo e uniforme (MRU).

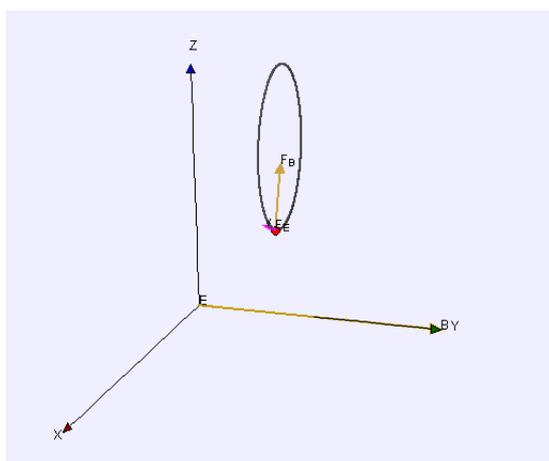
Figura 8 – Trajetória de uma partícula em um Campo Magnético uniforme no sentido de y com a velocidade inicial da carga no mesmo sentido



Fonte: A pesquisa

Já a outra situação corresponde ao caso em que a velocidade da partícula é perpendicular ao Campo Magnético (Figura 9). A força magnética que atua na partícula dará origem a uma aceleração, e a direção dessa aceleração será sempre perpendicular à componente da velocidade e, nesse caso, a partícula terá um movimento circular e uniforme (MCU).

Figura 9 - Trajetória de uma partícula em um Campo Magnético uniforme no sentido de y com a velocidade inicial da carga no sentido perpendicular a y (nesse caso x)

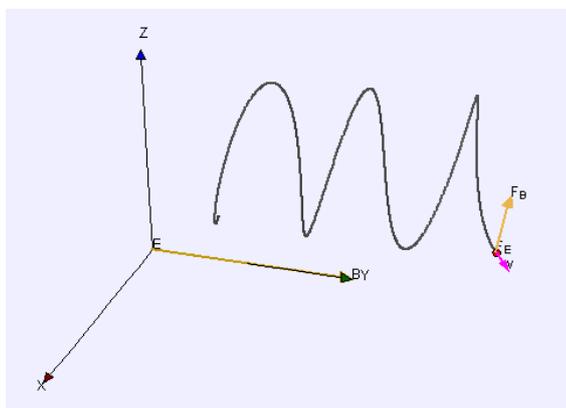


Fonte: A pesquisa

Podemos também ter uma situação em que temos o Campo Magnético no sentido de y, e a velocidade tem uma componente no sentido de y e no sentido de x.

O movimento será então a composição de um MCU no plano zx e um MRU no eixo x , e a trajetória será helicoidal como pode ser vista na Figura 10.

Figura 10 - Movimento helicoidal da carga elétrica



Fonte: A pesquisa

Por mais que muitas vezes é apresentada aos estudantes somente a força elétrica que atua sobre uma partícula ou somente a força magnética que atua sobre uma partícula, a Força de Lorentz é de extrema importância para a explicação de vários fenômenos físicos que envolvem a exposição de uma carga a um campo elétrico somado a um Campo Magnético.

Como exemplo disso, a medição das velocidades de fluxo em líquidos quentes e agressivos, como alumínio líquido e vidro fundido. Essa medição atualmente constitui um dos grandes desafios da mecânica de fluidos industrial. Um desafio diferente, embora fisicamente e estreitamente relacionado, é a detecção de falhas profundas e falta de homogeneidade na condução de materiais sólidos eletricamente. Este é um assunto que atualmente alguns cientistas e engenheiros²⁵ têm tentado desenvolver novas técnicas, e algumas delas foram denominadas de *Lorentz force velocimetry (LFV)* e *Lorentz force eddy current testing (LET)*.

Estas técnicas, desenvolvidas pelos pesquisadores, baseiam-se na medição de uma força minuciosa de Lorentz que atua sobre um sistema magnético interagindo com o líquido ou sólido em movimento. Alguns resultados das pesquisas sobre esse

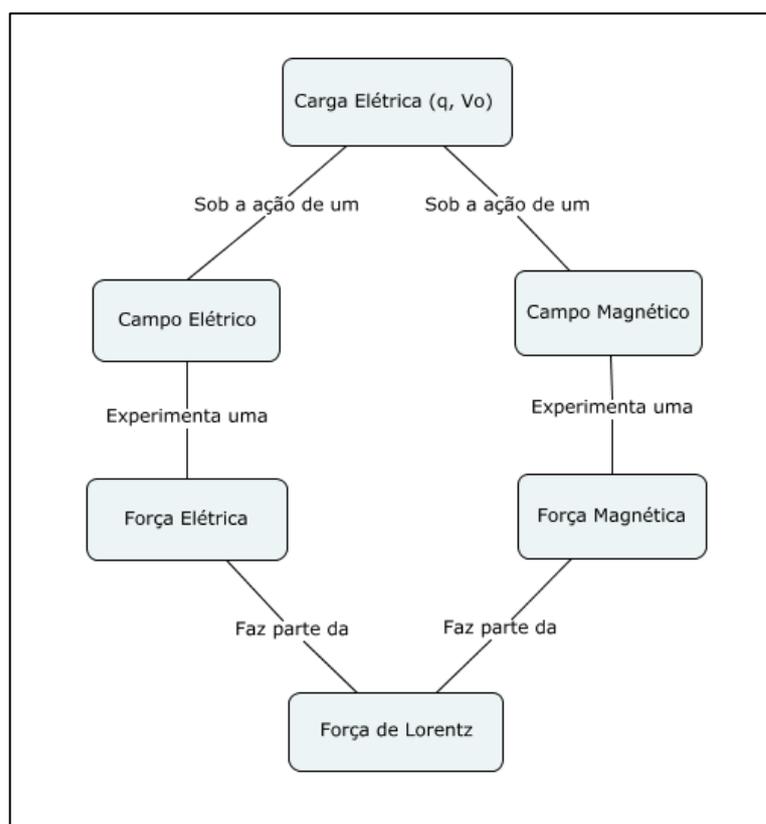
²⁵ Como por exemplo, pesquisadores da *Technische Universität Ilmenau*, localizada na cidade de Ilmenau/Alemanha.

assunto podem ser obtidos e pesquisados com uma simples busca feita na internet. Além desse desafio atual da mecânica de fluidos industrial, podemos citar exemplos de aplicação mais simples da Força de Lorentz como motores elétricos, motores lineares, alto-falantes, geradores elétricos, alternadores e canhões elétricos.

5.1 DEFINIÇÃO DOS CONCEITOS

A Simulação Computacional foi utilizada para explorar alguns conceitos de Eletromagnetismo que envolvem a Força de Lorentz pois o entendimento desses conceitos é de fundamental importância para os futuros professores de Física. A partir da Força de Lorentz um mapa conceitual de conceitos fundamentais de eletromagnetismo foi montado e pode ser visto na Figura 11.

Figura 11- Mapa conceitual da Força de Lorentz.



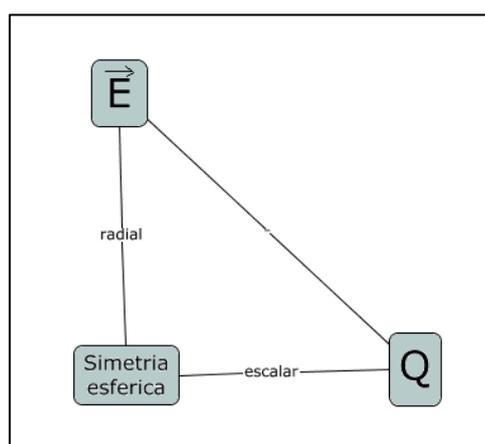
Fonte: O autor

A partir deste mapa conceitual, pretende-se analisar o conceito de Carga pois entende-se que este é fundamental para o entendimento da Força de Lorentz. Analisa-se também o conceito de Campo tanto de origem magnética como de origem elétrica. Também o conceito da Força que pode atuar quando essa carga é submetida a um Campo (força elétrica e força magnética) e finaliza-se com a análise da soma das forças de origem Elétrica e/ou Magnética que podem atuar na carga segundo a Força de Lorentz.

5.1.1 Conceito de Carga elétrica (Conceito I)

Como pode ser visto no mapa conceitual (Figura 12) e na equação da Força de Lorentz (Equação 1), o conceito de carga elétrica se faz importante, pois a ideia de carga está no centro da formulação feita por Lorentz. A ideia de carga elétrica também fundamenta outros assuntos relacionados ao Eletromagnetismo. Além da Força de Lorentz, tem-se o exemplo da Eletrostática que é ensinada nos primeiros anos de vários cursos universitários, como mostra a Figura 12.

Figura 12- Mapa conceitual $Q-\vec{E}$.



Fonte: O autor

Podemos observar que o caminho de $Q \rightarrow E$ que é mostrado diretamente no mapa conceitual representa a ideia de a carga elétrica ser a fonte do campo elétrico.

Analisando também o outro caminho entre Q e E, percebe-se que uma propriedade básica da carga elétrica é a de que ela é uma grandeza escalar. Supondo que o espaço vazio seja isotrópico²⁶, o **campo vetorial** criado por esta carga puntiforme estacionária deve ser esfericamente simétrico e, portanto, radial. Deste modo, o vetor campo elétrico criado por uma carga elétrica puntiforme estacionária tem necessariamente a direção radial.

Com isso percebemos que se deve ter um olhar “Maxwelliano” (como comentado no Capítulo 3) para o entendimento do conceito de carga elétrica, pois a representação desta não se resume somente a um conceito escalar.

Entende-se que esse conceito não possui uma simples definição, já que, segundo Halliday, Resnick e Walker (2010, p. 3),

dois dos grandes mistérios da física são os seguintes: (1) porque o universo possui partículas com carga elétrica (o que é carga elétrica na verdade?) e (2) porque existem dois tipos de carga elétrica (e não, digamos, um tipo, ou três tipos). Simplesmente não sabemos.

Dada a importância deste conceito no meio físico, pretende-se investigar o que os alunos, que serão futuros professores de Física, entendem a respeito dele e como a Simulação Computacional auxilia, ou não, os estudantes a terem uma melhor definição desse conceito, ou seja, um modelo mais próximo ao “Maxwelliano” da carga elétrica.

Foram analisadas todas as questões tanto dos testes quanto do roteiro de utilização do *Software* e também os vídeos das entrevistas buscando evidências do entendimento do conceito de carga elétrica antes e depois da Simulação.

5.1.2 Conceito de Campo Elétrico e Campo Magnético (Conceito II)

O campo elétrico é um campo de forças provocado pela ação de cargas elétricas, (prótons, elétrons ou nêutrons) ou por sistemas compostos por elas. Pode-se considerar que o campo elétrico em um ponto é uma grandeza vetorial, portanto é

²⁶ Que possui propriedades físicas independentes da direção (diz-se de um meio).

representado por um vetor. Dessa forma, tratando-se de uma grandeza vetorial, ela é representada de maneira tridimensional através dos eixos cartesianos x, y, e z e pode ser vista pela Simulação Computacional.

Dentre as origens do campo elétrico, podemos citar o Campo Elétrico devido a uma carga elétrica pontual. Este pode ter origem devido a uma carga elétrica em que normalmente é representado por uma seta que indica que o campo “nasce” nas cargas positivas e “morre” nas cargas negativas.

A equação para o módulo do campo produzido por uma carga pontual pode ser escrita de forma vetorial. Se a carga Q estiver na origem, o resultado obtido é:

Equação 4 – Equação do Campo Elétrico produzido por uma carga pontual.

$$\vec{E} = \frac{kQ}{r^2} \vec{e}_r$$

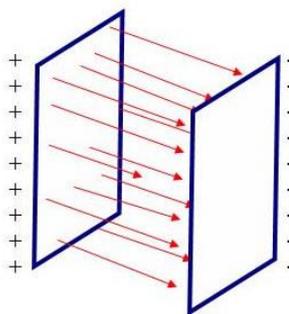
Fonte Silva et al. (2014)

Sendo r a distância até a origem, e \vec{e}_r o vetor unitário que aponta na direção radial, afastando-se da carga. Se a carga for negativa, a equação anterior continua válida, dando um vetor que aponta no sentido oposto de \vec{e}_r (campo atrativo). Outras representações de campo elétrico também podem acontecer como o Campo Elétrico gerado por uma esfera condutora, ou o campo elétrico induzido.

Porém para este estudo foi utilizada a representação do campo elétrico como sendo uniforme na região ao redor da carga. O campo uniforme é definido como uma região em que todos os pontos possuem o mesmo vetor campo elétrico em módulo, direção e sentido. Sendo assim, as linhas de força são paralelas e equidistantes.

Para produzir um campo com essas características, basta utilizar duas placas planas e paralelas eletrizadas com cargas de mesmo módulo e sinais opostos. Um capacitor pode ser citado como exemplo de criador de um campo elétrico uniforme como é demonstrado através da Figura 13.

Figura 13 – Capacitor como fonte do campo Elétrico.

Fonte: Internet²⁷

O conceito de Campo Magnético será também analisado, pois a Força de Lorentz engloba tanto campo elétrico como Campo Magnético. O Campo Magnético pode ter várias origens, podendo ser demonstrado pelo Campo Magnético terrestre, ou o Campo Magnético de um ímã, ou através da corrente elétrica em um fio condutor e outros. Neste estudo o programa computacional mostrou o Campo Magnético, assim como o campo elétrico, como sendo um campo uniforme ao redor da carga.

Para o entendimento desses dois conceitos de campo, pretende-se analisar o entendimento do aluno a respeito de um conceito “Maxwelliano” de campo após a utilização da Simulação Computacional, porquanto, muitas vezes, mesmo os estudantes universitários, que possuem uma ampla formação em Eletromagnetismo, interpretam o conceito de Campo a partir da base teórica “Coulombiana”.

Em muitos casos, os estudantes não associam a ideia de campo a uma região espacial que é representada na forma tridimensional. Guisasola et al. (2008), comenta que as explicações dos alunos para fenômenos que envolvem Campos Elétricos e Campos Magnéticos, muitas vezes, baseiam-se na descrição literal de uma fórmula e que, frequentemente, são uma análise incorreta desta.

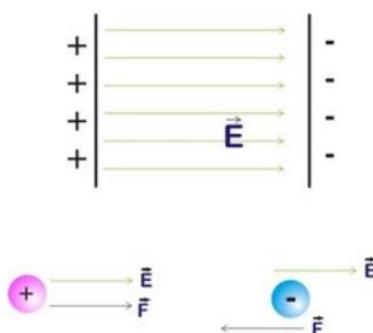
Com relação ao entendimento de campo, foram analisadas todas as questões tanto dos testes quanto do roteiro de utilização do *Software* e também os vídeos das entrevistas, buscando evidências do entendimento desse conceito antes e depois da Simulação.

²⁷ Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_elétrico. Acesso em 28 de abril de 2018.

5.1.3 Força Elétrica - Carga em um campo elétrico tridimensional (Conceito III)

Esse conceito que será analisado é a primeira parte da equação da Força de Lorentz e se resume à força elétrica que age sobre uma carga elétrica. A força elétrica em uma carga positiva (não depende da velocidade inicial) e o sentido da força acompanha o sentido do Campo Elétrico. A intensidade da força elétrica é diretamente proporcional à intensidade do campo elétrico \vec{E} e da carga elétrica q . A figura 14 representa o movimento resultante da carga nesta situação.

Figura 14 - Movimento da carga elétrica em um campo elétrico



Fonte: Internet²⁸

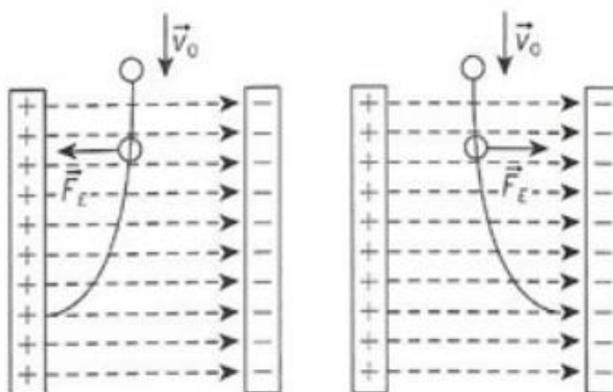
Sendo a representação do campo elétrico na forma tridimensional, a força também será uma grandeza tridimensional de modo que a força elétrica resultante sobre uma carga q tem a direção e o sentido do campo elétrico que atua sobre a carga.

Com isso, se a carga for solta a partir do repouso em um campo elétrico, se ela for positiva, ela se movimentará na direção do campo, porém, se for negativa, ela irá se movimentar no sentido contrário ao do campo, como pode ser visto na Figura abaixo.

Todavia, em outra situação em que a carga elétrica possui uma velocidade inicial, ela tenderá a assumir a direção do campo elétrico (dependendo do sentido da carga), como podemos ver na Figura 15 abaixo.

²⁸ Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/278102/#>. Acesso em 03 de maio de 2018.

Figura 15 - Trajetória de uma partícula ao entrar em um Campo Elétrico.



Fonte: Internet²⁹

A parte 'a' da figura mostra a trajetória de uma partícula negativa ao entrar em um Campo Elétrico uniforme com uma velocidade inicial diferente de zero. E a parte 'b' da figura mostra a trajetória de uma partícula positiva ao entrar em um Campo Elétrico uniforme com uma velocidade inicial diferente de zero.

Foram analisadas para esse conceito principalmente as questões 1, 2, 3, 5 e 9 dos testes e também as questões 1, 2, 3, 4 do roteiro de utilização do *Software* e também os vídeos das entrevistas, buscando evidências do entendimento deste conceito de força elétrica, pois essas questões tratam diretamente desse assunto, isso para antes e depois da Simulação.

5.1.4 Força Magnética - A carga em um Campo Magnético Tridimensional (Conceito IV)

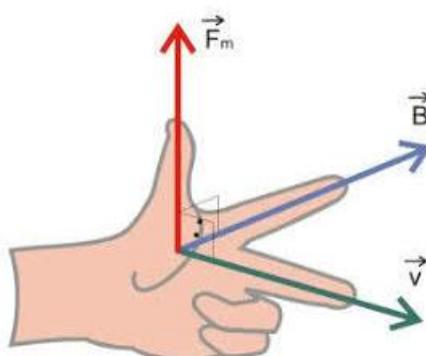
Esse conceito a ser analisado é a segunda parte da Força de Lorentz. A força magnética em uma carga positiva depende da velocidade inicial e é vetorial ao Campo Magnético. Uma carga q em repouso e próxima a um Campo Magnético não sofre ação de força magnética. Mas, se essa carga for deslocada com uma velocidade \vec{v} ,

²⁹ Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/4142522/>. Acesso em 03 de maio de 2018

verifica-se uma força ortogonal a \vec{v} atuando sobre ela. Essa força será máxima quando a direção do vetor indução magnética \vec{B} for perpendicular a \vec{v} .

Muitas vezes, tentando mostrar melhor a relação vetorial existente entre o Campo Magnético e a velocidade da carga, alguns professores optam por mostrar aos estudantes alguns “macetes” visando ao entendimento da força magnética e à resolução de eventuais exercícios. O principal deles é a regra da mão esquerda, ou conhecida, muitas vezes, por “regra da mão esquerda de Fleming³⁰” (Figura 16).

Figura 16 - Regra de Fleming da mão esquerda



Fonte: Internet³¹

Na regra de Fleming da mão esquerda, temos que o dedo polegar representa o sentido da força magnética (F). Já o dedo indicador representa o sentido do Campo Magnético (B), e o dedo médio indica o sentido da velocidade (v).

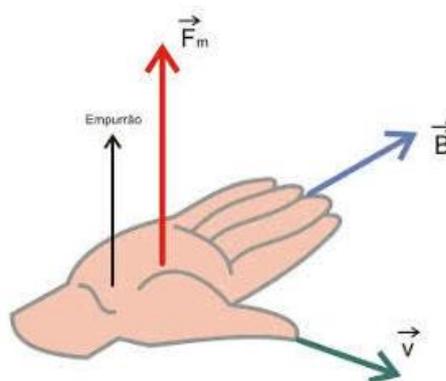
Variações desses recursos mnemônicos, que são utilizados para entender o sentido da força magnética, também são usados como a “regra do tapa” mostrada na Figura abaixo.

Nessa regra a mão direita fica aberta e tem-se que o polegar representa o sentido da velocidade (v) e os outros dedos representam o sentido do Campo Magnético (B). Já a palma da mão corresponde ao sentido da força magnética (F).

³⁰ John Ambrose Fleming (Lancaster, 29 de novembro de 1849 - Sidmouth, Devon, 18 de abril de 1945) foi um engenheiro eletricista.

³¹ Disponível em <https://www.todamateria.com.br/forca-magnetica/>. Acesso em 03 de abril de 2018.

Figura 17 - Regra do tapa



Fonte: Internet³²

Algumas dessas regras foram utilizadas pelos estudantes de licenciatura em Física, que foram os objetos desta pesquisa, na tentativa de resolver alguns problemas propostos. Com isso percebe-se que os alunos possuem *drivers* oriundos de mediação social³³, ou seja, *drivers* estes que o aluno possui por meio da interação aluno-professor em sala de aula.

Foram analisadas para este conceito principalmente as questões 1, 4, 6, 7, 8 e 9 dos testes e também as questões 5, 6, 7, e 8 do roteiro de utilização do *Software* e também a fala e as imagens das entrevistas buscando evidências do entendimento deste conceito de força magnética, pois essas questões tratam diretamente desse assunto, isso para antes e depois da Simulação.

5.1.5 Força de Lorentz - A carga em um Campo Elétrico Tridimensional e um Campo Magnético Tridimensional simultaneamente (Conceito V)

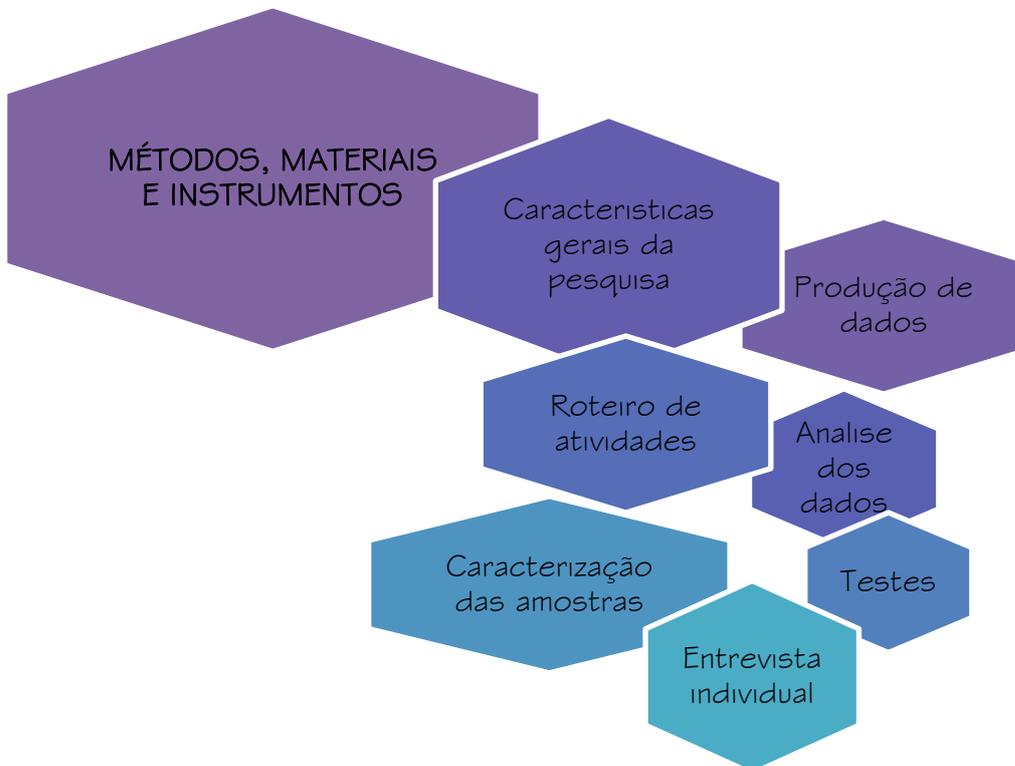
A Equação 1 mostra que a carga elétrica sob a ação de um Campo Elétrico estará sujeita a uma Força Elétrica, e a carga elétrica sob a ação de um Campo Magnético estará sujeita a uma força de origem magnética. Por conseguinte, esta

³² Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/forca-magnetica/>. Acesso em 03 de maio de 2018.

³³ Será explicado mais adiante no item 4.1.3.

combinação entre a força elétrica e a força magnética que atuam sobre uma carga é a Força de Lorentz da forma completa.

Foram analisadas para este conceito todas as questões dos testes e também todas do roteiro de utilização do *Software* assim como a fala e as imagens das entrevistas, buscando evidências do entendimento deste conceito de Força de Lorentz, isso para antes e depois da Simulação.



6 MÉTODOS MATERIAIS E INSTRUMENTOS

Foi utilizada uma metodologia nesta pesquisa³⁴ que visa proporcionar a identificação das possíveis modificações nos *drivers* existentes nos alunos a respeito dos aspectos intrínsecos ao entendimento da Força de Lorentz. Com isso, essa proposta metodológica buscou identificar as modificações na estrutura cognitiva dos estudantes relacionadas com o uso de uma Simulação Computacional Tridimensional produzida a partir da tecnologia *Easy Java Simulation*, investigando assim os efeitos dessa modificação.

6.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PESQUISA

Este trabalho é sustentado por procedimentos metodológicos referentes à pesquisa interpretativo/qualitativa, já que essa metodologia está solidificada no meio acadêmico, como comentam Coutinho e Chaves (2002), “é verdade que na investigação educativa em geral abundam sobretudo os estudos de caso de natureza interpretativa/qualitativa”.

A pesquisa qualitativa trabalha com dados subjetivos, crenças, valores, opiniões, fenômenos e hábitos e entende-se que, neste experimento, o ser humano representa o foco principal da pesquisa, e, ao elaborarmos um instrumento de pesquisa no âmbito da educação, estamos diante das escolhas subjetivas feitas por este ser humano.

A escolha por um estudo de caso deu-se porque essa abordagem, segundo Yin (1994, 2005), adapta-se à investigação em educação, quando o investigador é confrontado com algumas situações complexas, de tal forma que dificulta a identificação das variáveis consideradas importantes, quando o investigador procura respostas para o "como?" e o "por quê?", tentando, dessa forma, encontrar interações entre fatores relevantes próprios dessa entidade, quando o objetivo é descrever ou

³⁴ Cabe salientar que este trabalho de doutorado não passou pelo comitê de ética pelo fato do mesmo ter sido iniciado já no início do ano de 2015, data esta que antecede a exigência do referido comitê.

analisar o fenômeno, a que se acede diretamente, de uma forma profunda e global, e quando o investigador pretende apreender a dinâmica do fenômeno, do programa ou do processo.

Esta pesquisa busca, a partir da identificação dos significados (escritos, falados e gesticulados) contidos na escrita e nas ações dos estudantes, investigar o impacto das Simulações Computacionais nas habilidades relativas à visualização espacial da Força de Lorentz e se elas auxiliam no aprendizado de conceitos e na resolução de problemas desta área de Eletromagnetismo no ensino de Física, tendo como alvo da pesquisa os futuros professores de Física.

A linguagem verbal, que está presente nas transcrições das entrevistas dos sujeitos da pesquisa, foi analisada tendo como base a metodologia de análise textual discursiva proposta por Moraes e Galiuzzi (2011). E a linguagem não verbal, caracterizada pelos gestos descritivos realizados pelos estudantes durante as entrevistas e principal ferramenta de identificação de *drivers* adotada, foi analisada a partir da adaptação da metodologia oferecida pela linha de trabalho de Monaghan e Clement (1999) e Clement e Stephens (2010).

Essas linhas de pesquisa revelam o conhecimento implícito inerente à visualização interna (simulação mental³⁵), pela externalização da análise gestual. A base da metodologia de Monaghan e Clement no trabalho acima citado consistiu em utilizar alguns indicadores, tais como os movimentos de mãos, a fala, ou a escrita, para sugerir que os estudantes estavam se utilizando de imagens dinâmicas de simulações mentais durante a entrevista.

Tendo como base os princípios descritos por Souza (2004), devido ao fato da mediação por computador e também o referencial teórico-epistemológico de Larry Laudan (2011), que liga o desenvolvimento científico a capacidade crescente de resolver problemas.

³⁵ Podem se referir a imagens mentais dinâmicas onde o aluno reproduz mentalmente algo que foi visualizado na Simulação Computacional.

6.2 PRODUÇÃO DE DADOS

A produção de dados da pesquisa se deu basicamente em duas etapas/momentos. O primeiro momento (duração de aproximadamente 4 horas) foi o encontro com o aluno, o que resultou na realização do pré-teste na utilização da Simulação Computacional (com o auxílio do roteiro) e na realização do pós-teste por parte do aluno. Já o segundo momento (duração de aproximadamente 30min) se deu aproximadamente uma semana após o primeiro e envolveu a entrevista feita com os estudantes as quais foram filmadas e posteriormente transcritas, e os gestos produzidos pelos estudantes durante estas entrevistas foram identificados.

Com isso, os instrumentos utilizados na produção dos dados constituem-se do pré-teste, seguido do roteiro de utilização da Simulação Computacional Tridimensional, da aplicação do pós-teste e da entrevista gravada em áudio e vídeo. Essas duas etapas então proporcionaram dados de um grupo de pesquisa que resultou em um estudo de caso.

Durante a coleta de dados dos pré-testes, dos pós-testes e do roteiro de utilização do Simulador Computacional, prevaleceu a metodologia qualitativa, sob a forma de questões que não exigiram a utilização de cálculo para a sua resolução. As questões eram possíveis de serem respondidas apenas conceitualmente ou realizando observações no *Software* de Simulação.

A primeira e a última questão do pré-teste e do pós-teste foram uma pergunta aberta na qual foi dada liberdade aos estudantes para a sua resolução, ou seja, o estudante poderia escolher a forma como ele achava mais conveniente responder, cuja resposta poderia ser dada com conceitos, esquemas, fórmulas ou com a combinação destas.

Ludke e André (1986) comentam que, para se obter uma análise fidedigna de dados qualitativos, deve ser utilizado o maior número possível de instrumentos na coleta e análise dos dados. Por isso, além dos pré-testes e pós-testes, utilizamos também a análise da entrevista que foi gravada em áudio e vídeo e também as informações preenchidas pelos estudantes no roteiro de utilização da Simulação.

Ocorreu também a definição de quais conceitos de Eletromagnetismo são de fundamental importância para o entendimento da Força de Lorentz por futuros

professores de Física, para que fosse avaliado o entendimento dos estudantes com relação a esses conceitos.

Vale destacar que, inicialmente, realizamos um teste piloto, e este teve um papel de grande importância para este trabalho. Por meio dele, tivemos noções concretas em relação aos problemas enfrentados na aplicação do trabalho como: tempo necessário para desenvolver as atividades e, principalmente, constatações de problemas em relação aos instrumentos utilizados.

A aplicação do teste piloto teve uma importância significativa na elaboração dos instrumentos utilizados nesta pesquisa. Do piloto percebemos as falhas nos instrumentos, variáveis não previstas, surgiram as ideias, e, do conjunto, resultaram os instrumentos atuais. Alguns desses aperfeiçoamentos foram a inclusão de questões discursivas nos pré-testes e nos pós-testes, e a proposição de uma questão que pedisse para que os alunos tentassem explicar, e se utilizar de “desenhos gráficos, equações, tudo o que achares necessário” para explicar o seu entendimento a respeito da Força de Lorentz. Após a inclusão dessa questão, observamos a utilização de desenhos por parte dos indivíduos da pesquisa, que nos permitiram investigar melhor a compreensão do estudante.

6.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram obtidos em contato direto do pesquisador, pois este esteve com os estudantes durante a realização dos testes, durante a utilização da Simulação Computacional (com a orientação do roteiro de utilização do *Software*) e da entrevista.

A entrevista foi conduzida a partir de um roteiro (Apêndice D) previamente elaborado a partir dos testes (Apêndice C) o qual foi seguido com certa liberdade em função das respostas que o aluno ia oferecendo. Com isso, sempre que achávamos importante aprofundar um determinado ponto, este era aprofundado para depois retomar o roteiro original. A entrevista foi realizada com os estudantes uma semana após eles realizarem os testes e utilizarem a Simulação Computacional.

As entrevistas foram transcritas e, após essa transcrição integral, parte dos gestos descritivos dos estudantes foram identificados e descritos ao longo do texto, com a identificação do tempo em que ocorreram. Ao final dessa etapa, optamos por

agrupar os trechos de textos das entrevistas conforme os conceitos que nortearam as entrevistas.

Foi também analisada, em alguns momentos, junto do pré-teste, a etapa predizer do roteiro de utilização do *Software* e no pós-teste foi analisada também, em alguns momentos, a entrevista juntamente com a etapa explicar do guia.

A partir desses dados e das entrevistas, gravadas em áudio e vídeo, buscou-se identificar a presença de representações e *drivers* - prévios³⁶ e novos³⁷ - a partir da descrição do próprio estudante sobre o seu processo de raciocínio para responder algumas das questões dos pré-testes e pós-testes.

A análise das respostas dos alunos no pré-teste, no pós-teste, no roteiro de utilização do *Software* e a análise gestual a partir da entrevista se deu de maneira qualitativa, porém interpretativa, pois, no âmbito da investigação interpretativa, a opção tomada vai para a modalidade do estudo de caso qualitativo, pois se pretende responder a questões de natureza explicativa, do tipo "como" e "por quê", que proporcionem uma descrição holística de um fenômeno sobre o qual o investigador não tem, nem deseja ter, qualquer controle, e que está bem identificado e delimitado (Merriam, 1988; Yin, 1989).

Com isso, pretende-se retratar as possíveis evoluções conceituais vividas pelos estudantes por meio do uso das Simulações Computacionais dos conceitos de Eletromagnetismo, e como estes podem auxiliar no aprendizado conceitual da Força de Lorentz.

Dessa forma, foram estabelecidos os seguintes procedimentos de análise:

- Analisar individualmente o quadro de respostas de cada aluno com relação a cada conceito proposto do pré-teste, do pós-teste e do roteiro de utilização do *Software*;

³⁶ Que não fazem referência a Simulação Computacional ou seja, foram adquiridos pelos estudantes antes da utilização do *Software*;

³⁷ Que fazem referência a Simulação Computacional ou seja, que substitui ou modifica um driver existente no estudante.

- Comparar as respostas das questões do pré-teste em relação às questões do pós-teste a fim de identificar possíveis aquisições de novos³⁸ “drives” de assimilação segundo a teoria da mediação cognitiva.
- Através do método de entrevista “*Report Aloud*”, identificar os gestos descritivos dos estudantes, e, posteriormente, classificá-los como possíveis imagens mentais deles.

6.4 TESTES

Um dos instrumentos utilizados nesta pesquisa para a coleta de dados constituiu-se no pré-teste. A elaboração desse teste está associada à observação de uma possível evolução conceitual dos principais conceitos de eletromagnetismo que envolvem a Força de Lorentz. As questões desse teste se caracterizam como perguntas/problemas que não exigiam nenhum cálculo dos estudantes, permitindo, dessa forma, que a resolução/pensamento a respeito dessas questões fosse feita apenas conceitualmente. Cabe-nos, ainda, ressaltar que esses testes foram instrumentos auxiliares, que complementaram as entrevistas realizadas com os estudantes.

O objetivo do pré-teste, juntamente com o pós-teste, é verificar se houve uma evolução ou um desenvolvimento conceitual dos conceitos de Eletromagnetismo propostos. Para a construção desses instrumentos, foi utilizado o artigo intitulado “*Surveying student’s conceptual knowledge of electricity and magnetism*” - levantamento do conhecimento de eletricidade e magnetismo dos estudantes - Maloney et al. (2001, tradução nossa).

O trabalho de Maloney et al. (2001) trata da pesquisa conceitual de Eletricidade e Magnetismo que os alunos possuem. Ele foi desenvolvido para avaliar quais tópicos os alunos têm conhecimento nos assuntos que envolvem eletricidade e magnetismo. A pesquisa é composta por um teste de 32 perguntas de múltipla escolha e sugere

³⁸ Estes se referem a utilização da Simulação Computacional que pode substituir ou modificar um *driver* existente no estudante.

que esse teste pode ser utilizado como um pré-teste e como um pós-teste em pesquisas. Algumas questões desse material já foram utilizadas como pré-teste e pós-teste em outras pesquisas. O trabalho de Maloney et al. (2001) foi refinado e melhorado durante quatro anos, sendo utilizado por mais de 5000 estudantes de 30 diferentes instituições de ensino que tratam de assuntos introdutórios de Física.

Os autores propuseram-se a estudar, por meio desse teste, sete assuntos referentes à eletricidade e magnetismo que são:

1. Condutores e isolantes;
2. Lei de Coulomb;
3. Força e sobreposição de campo;
4. Força, campo, trabalho e potencial elétrico;
5. Força magnética;
6. Lei de Faraday;
7. Terceira Lei de Newton (ibid., tradução nossa);

O pré-teste utilizado nesta pesquisa empregou 7 das 32 questões de múltipla escolha, pelo fato de somente estas questões tratarem de aspectos relacionados à Força de Lorentz. Três dessas questões tratam da força Elétrica e quatro delas, da força Magnética que atua sobre uma carga. Para o nosso estudo, foram adicionadas duas questões dissertativas ao teste, uma no início e outra no final do teste. Essas questões eram possíveis de serem respondidas apenas conceitualmente. Dessa forma, damos liberdade aos estudantes para a resposta nessas questões, isto é, eles poderiam escolher a forma como achavam mais conveniente, cujas respostas poderiam ser dadas por meio de conceitos, esquemas, fórmulas ou com a combinação destas.

Como o foco da análise foi o de identificar como o estudante resolvia cada uma das questões, analisamos tanto o conteúdo das entrevistas, por intermédio do conteúdo do discurso e do conteúdo gerado pelas imagens mentais que foram caracterizadas como as respostas dos alunos a cada questão dos testes e dos roteiros.

Esse teste que foi utilizado antes da Simulação; também foi usado após a utilização do *Software* no sentido de ter, juntamente com a entrevista, um material de

apoio à análise de dados para verificar se houve uma evolução ou um desenvolvimento conceitual dos conceitos de Eletromagnetismo propostos.

6.5 ROTEIRO DE ATIVIDADES

Para a Simulação Computacional proposta nesta pesquisa, foi elaborado um roteiro de utilização do *Software*, cuja abordagem contemplasse diferentes situações que abordam alguns aspectos de Eletromagnetismo relacionados à Força de Lorentz. O roteiro dessa Simulação se encontra no Anexo D. Como já dito, antes da utilização do *Software*, foram aplicados pré-testes e então os estudantes realizaram a Simulação computacional com o apoio do roteiro e, após a utilização do *Software*, foi pedido aos alunos que repetissem o mesmo teste, sendo, depois, feita uma entrevista gravada em áudio e vídeo (aproximadamente uma semana depois da utilização do Simulador Computacional).

6.5.1 *Software* utilizado para a Simulação Computacional

O *Software* utilizado foi o “*Charge in 3D E and B field*”³⁹ (carga em um Campo Elétrico e Magnético Tridimensional) que foi produzido por meio da tecnologia *Easy Java Simulation*⁴⁰ (EJS) pelo prof. Lawrence Wee Loo Kang que se apresenta, em seu site⁴¹, como um ativista de recursos educacionais abertos e também de códigos abertos em Física.

Essa Simulação Computacional propõe a representação de uma carga elétrica que pode estar imersa em um Campo Elétrico e/ou Magnético o que representa a Força de Lorentz. A Simulação, ao ser inicializada, mostra a tela inicial que contém

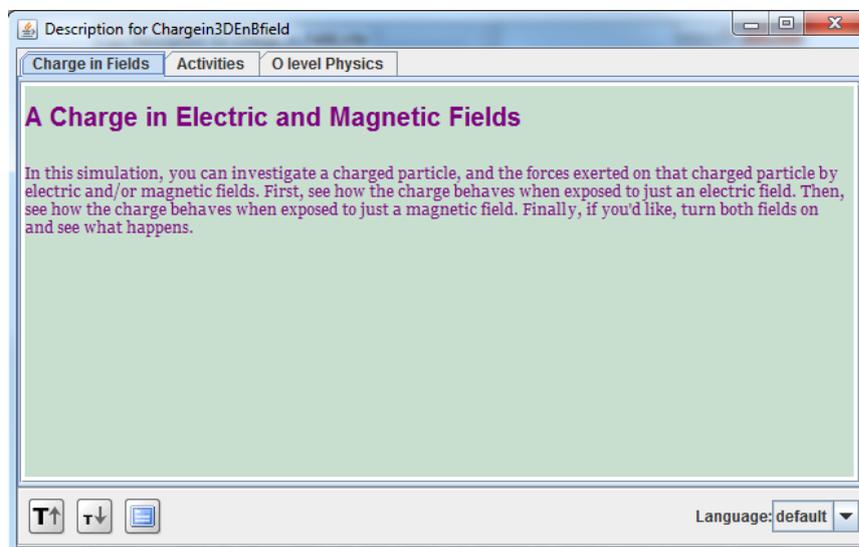
³⁹ Disponível em: <https://sites.google.com/a/moe.edu.sg/physicshandbook/chapter08electricity-magnetism/8-4-magnetism> . Acesso em 05 de maio de 2018.

⁴⁰ Esse assunto será tratado mais adiante.

⁴¹ Disponível em: <http://weelookang.blogspot.com.br> . Acesso em 05 de maio de 2018.

as descrições a respeito da Simulação e três abas. A primeira aba pode ser vista na Figura 18.

Figura 18 - Tela de abertura do *Software*



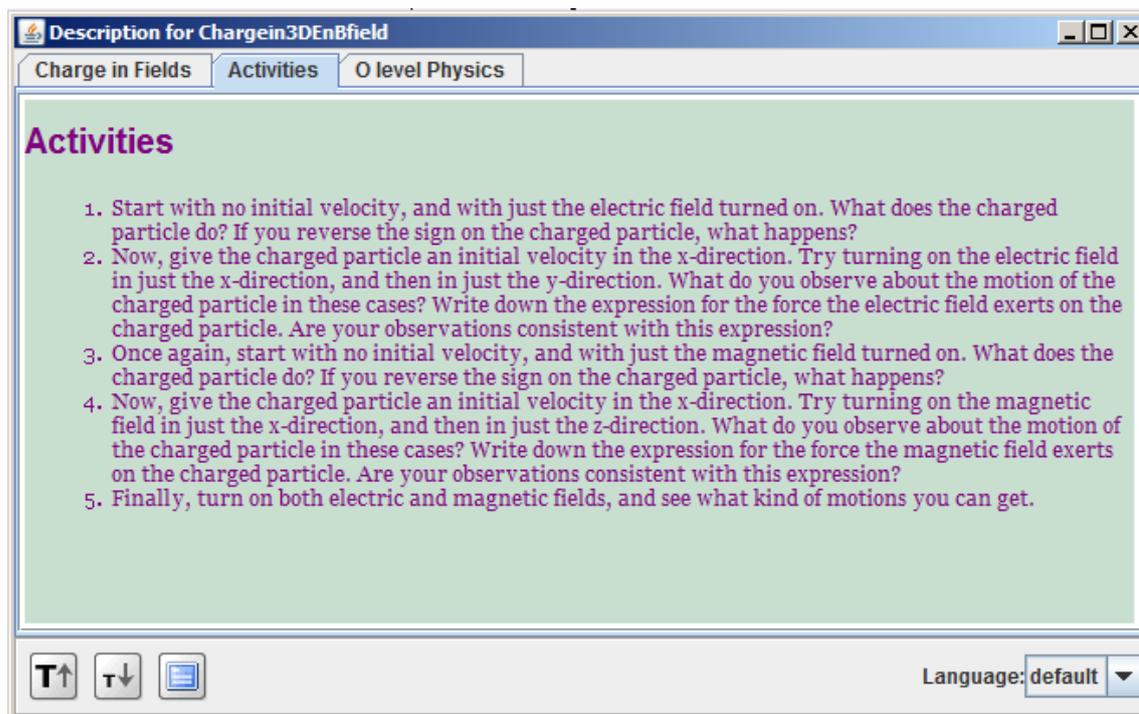
Fonte: A pesquisa

Na primeira aba, temos a descrição do Simulador, feita pelo autor, e essa se reporta ao caso de a carga elétrica estar exposta a um Campo Elétrico e Magnético como trata a Força de Lorentz. Abaixo vemos a tradução do que o autor explica nessa aba:

“Nesta Simulação, você pode investigar uma partícula carregada e as forças exercidas nessa partícula carregada por campos elétricos e/ou magnéticos. Primeiro, veja como a carga se comporta quando exposta a apenas um campo elétrico. Então, veja como a carga se comporta quando exposta a apenas um Campo Magnético. Por fim, se quiser, ative os dois campos e veja o que acontece (tradução nossa)”.

Já na segunda e na terceira telas de abertura do programa, o autor trata de propor algumas atividades que podem ser realizadas com o programa que inclui começar e observar as simulações somente com a interação da carga com o Campo Elétrico, depois simular e observar as simulações com a Carga somente no Campo Magnético e, por último, juntar as duas possibilidades (Figura 19 abaixo).

Figura 19 - Segunda aba da tela de iniciação do Simulador



Fonte: A pesquisa

A tradução livre dessa atividade é a seguinte:

Atividades

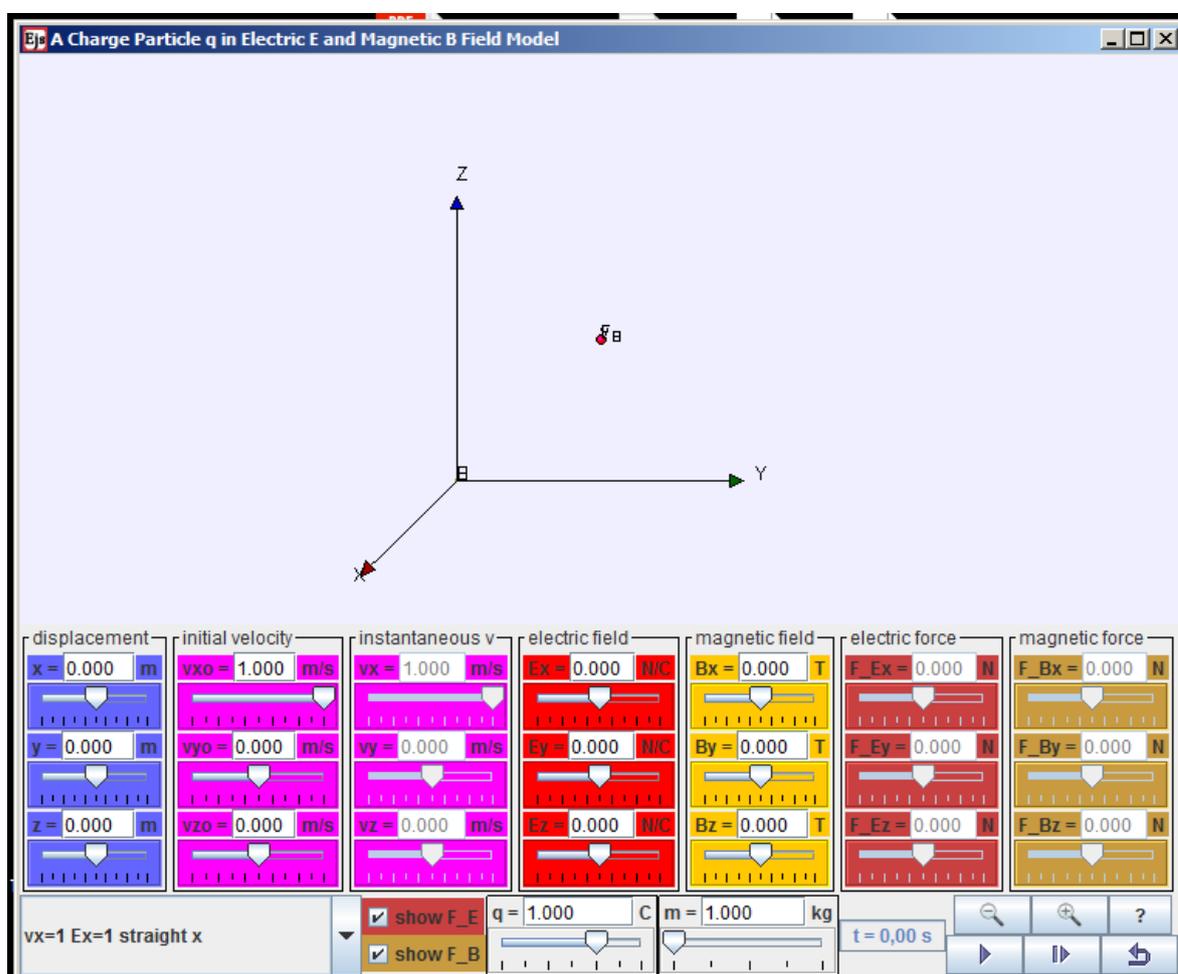
1. Comece sem velocidade inicial e apenas com o campo elétrico ligado. O que a partícula carregada faz? Se você inverter o sinal na partícula carregada, o que acontece?
2. Agora, dê à partícula carregada uma velocidade inicial na direção x . Tente ligar o campo elétrico apenas na direção x depois apenas na direção y . O que você observa sobre o movimento da partícula carregada nesses casos? Anote a expressão da força exercida pelo campo elétrico na partícula carregada. Suas observações são consistentes com essa expressão?
3. Mais uma vez, comece sem velocidade inicial e apenas com o campo magnético ligado. O que a partícula carregada faz? Se você inverter o sinal na partícula carregada, o que acontece?
4. Agora, dê à partícula carregada uma velocidade inicial na direção x . Tente ligar o campo magnético apenas na direção x , em seguida, apenas na direção z . O que você

observa sobre o movimento da partícula carregada nesses casos? Anote a expressão da força exercida pelo campo magnético na partícula carregada. Suas observações são consistentes com essa expressão?

5. Finalmente, ligue os campos elétrico e magnético e veja que tipo de movimentos você pode obter (tradução nossa).

A tela inicial da Simulação é mostrada na Figura 20.

Figura 20 - Tela inicial do Simulador Computacional



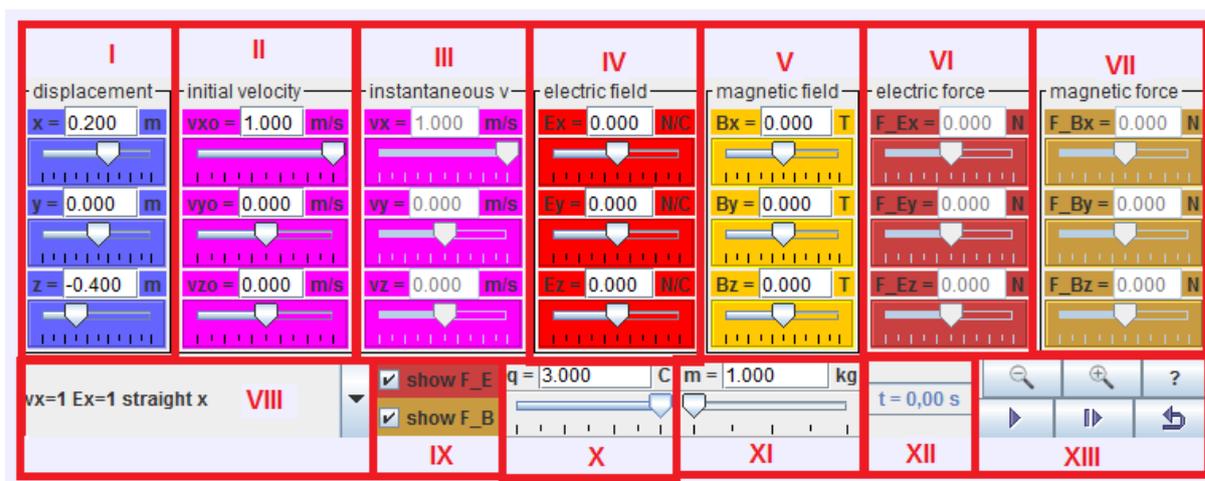
Fonte: A pesquisa

A Simulação mostra os três eixos de coordenadas cartesianas (x, y e z) que representam um sistema tridimensional. E a carga elétrica é mostrada como sendo um ponto que se encontra inicialmente em uma posição positiva em relação a esses três eixos.

Logo abaixo da representação da carga elétrica, estão os parâmetros que podem ser alterados pelo estudante da Simulação.

Um recorte da parte de baixo da tela principal do programa computacional, que contém esses parâmetros que podem ser alterados e/ou visualizados pelo usuário, encontra-se na Figura abaixo.

Figura 21 - Parâmetros que podem ser alterados e/ou visualizados no simulador



Fonte: A pesquisa

Esses parâmetros foram enumerados de I a XIII visando a uma melhor explicação no roteiro de atividades, haja vista que o programa foi feito em inglês. Todas as unidades de medida mostradas na Simulação Computacional estão no Sistema Internacional de Unidades (SI).

Nem todos os parâmetros possuem a mesma funcionalidade no *Software*. Estes podem ser divididos em duas categorias: os que podem ser alterados/visualizados, e os que não podem ser alterados somente servem para o usuário visualizar o seu módulo durante a Simulação.

Parâmetros que podem ser alterados e/ou visualizados na Simulação

O primeiro parâmetro que pode ser alterado e/ou visualizado está identificado como número I, intitulado *displacement* (deslocamento) da carga ou a posição dela em relação aos eixos x, y, e z pode ser visto tendo como unidade em metros (m). Esse

parâmetro pode ser alterado para qualquer valor entre -1 e +1, contendo intervalos de três casas decimais após a vírgula, o que vale também para os eixos x, y e z.

Na sequência, temos o parâmetro II que indica a *initial velocity* ou velocidade inicial onde a velocidade inicial da carga pode ser alterada, isso para qualquer um dos três eixos cartesianos (V_{x0} , V_{y0} ou V_{z0}). A sua unidade é dada em metros por segundo (m/s). Outros parâmetros que podem ser alterados são o parâmetro de número IV que se refere à intensidade do Campo Elétrico E (*electric field*), e o parâmetro V, que se refere à intensidade do Campo Magnético B (*magnetic field*). A unidade de Campo Elétrico mostrada no Simulador é Newtons por Coulomb (N/C), e a unidade do Campo Magnético mostrada é Tesla (T). Essas unidades também podem ser alteradas para os eixos x (E_x e B_x), y (E_y e B_y), e z (E_z e B_z) entre os limites de -5 a +5 com a precisão de até três casas decimais após a vírgula.

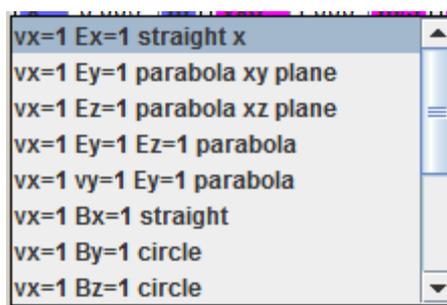
Tem-se os parâmetros que ainda podem ser alterados que são os que identificam o valor da intensidade da carga elétrica (parâmetro X) em Coulombs (C) podendo ser alterada a magnitude deste entre o intervalo de -3 a +3, e o parâmetro XI que é o que altera a massa da carga em quilogramas (kg).

O parâmetro IX mostra uma “caixa” onde pode ser selecionado se os vetores correspondentes que mostram a força devido ao campo Elétrico (show F_E) serão mostradas na Simulação e/ou se os vetores que mostram a força devido ao Campo Magnético (show F_B) também aparecerão na Simulação.

O parâmetro de número XIII indica as teclas de iniciar, pausar e reiniciar a Simulação e outros aspectos como o de aproximar e afastar a imagem gerada pelo Simulador.

Clicando no item VIII, a janela, que pode ser vista na Figura 22, é mostrada na tela da Simulação. Ela contém algumas situações pré-definidas pelo Simulador que podem ser utilizadas, mas não foram nesse caso pois foi pedido ao estudante que fizesse essas alterações.

Figura 22 - Situações pré-definidas que podem ser utilizadas no Simulador



Fonte: A pesquisa

Parâmetros que não podem ser alterados, porém somente visualizados na Simulação

Dentre os parâmetros de visualização do Simulador, está o de número III que representa a velocidade instantânea (instantaneous v). Esse parâmetro pode ser somente visualizado, pois é um parâmetro de “saída” que mostra os valores da velocidade instantânea da carga para os três eixos (V_x , V_y e V_z) em metros por segundo (m/s). É através da variação desse parâmetro que é possível observar se a carga elétrica possui uma aceleração ou não.

Outros dois parâmetros que o usuário do programa não tem controle são os de número VI e VII. Estes mostram o resultado da força elétrica (*electric force*) e da força magnética (*magnetic force*), respectivamente, isso para x , y e z . A unidade das forças é dada em Newtons (N).

O último parâmetro a ser somente observado é o de número XII que contempla o tempo que a Simulação está ocorrendo em segundos. Com isso, os parâmetros I, II, IV, V, X e XI podem ser alterados durante as simulações, já os parâmetros III, VI, e VII são somente para a sua visualização e não podem ser alterados.

Uma característica desse *Software* é a possibilidade de rotação que pode ser feita da Simulação, ou seja, em qualquer momento que a carga estiver se movendo, o usuário pode clicar com o botão esquerdo do mouse e rotacionar o movimento em três dimensões, obtendo qualquer vista desejada do resultado. E todos os vetores que compõem a Simulação (Campo Elétrico, Campo Magnético, Força Elétrica, Força Magnética e mais) podem ser visualizados tridimensionalmente no eixo x , y e z .

6.5.2 Atividades do roteiro de utilização do *Software*

No roteiro de atividades (Anexo - D), foi proposto aos alunos que realizassem oito atividades, onde as quatro primeiras envolviam simulações de situações envolvendo somente a carga sob a ação de um Campo Elétrico, e as outras quatro atividades eram de situações que envolviam a carga somente sob a ação de um Campo Magnético.

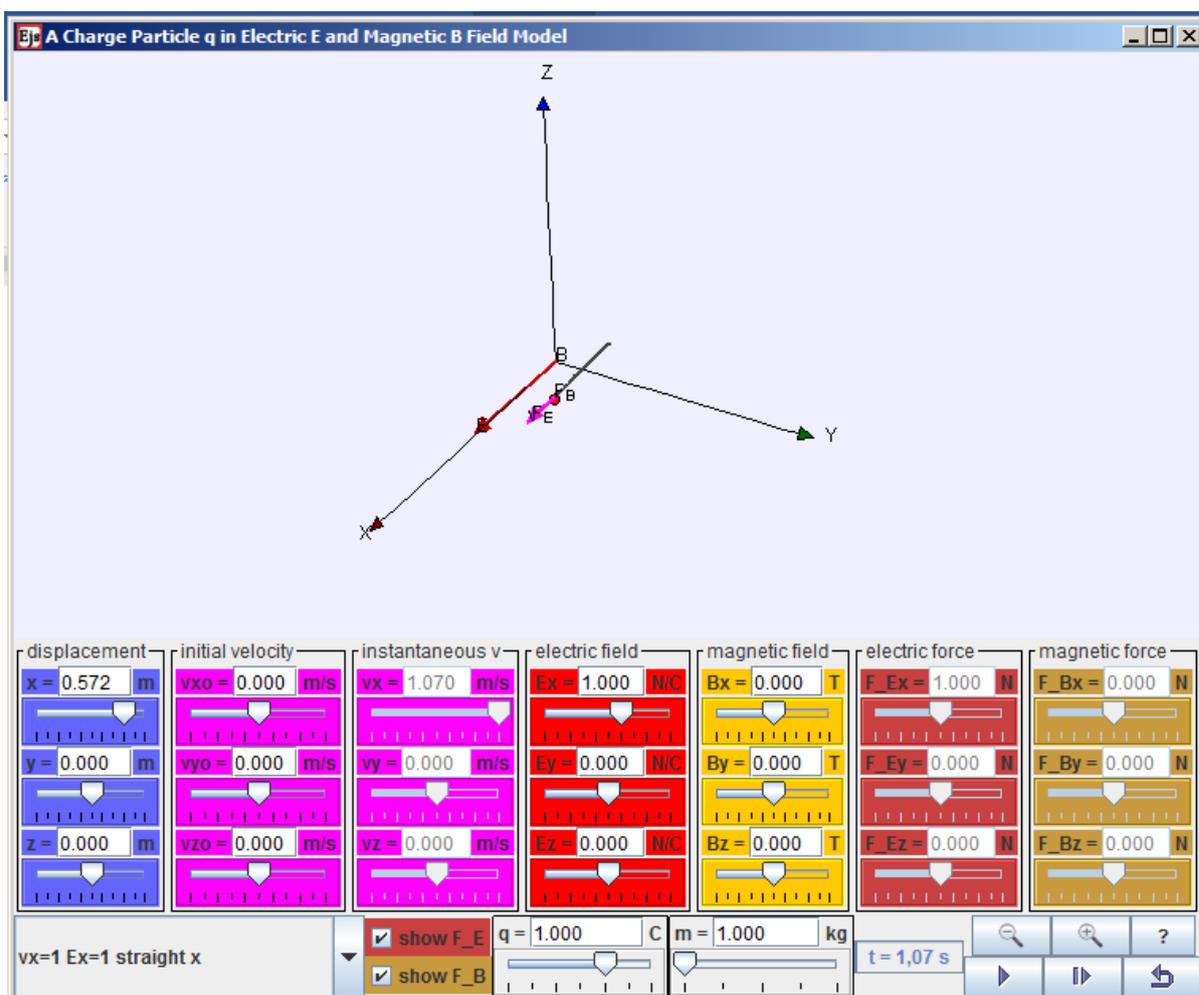
Para cada Simulação proposta, os alunos foram orientados a utilizar a técnica descrita como P.O.E. (Predizer-Observar-Explicar). Essa técnica é bem conhecida e utilizada em simulações computacionais como estratégia para promover o conflito cognitivo estabelecido durante a Simulação em programas de Simulação (TAO e GUNSTONE, 1999).

Nessa técnica, primeiro tenta-se prever o que irá ocorrer antes da Simulação e 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 essas diferenças tenham existido. Ao explicar a atividade, foi dada ênfase para que o aluno não tentasse simular o comportamento antes de ter refletido sobre o que iria acontecer e ter registrado essa previsão no guia de utilização do *Software*.

A primeira atividade do roteiro consistiu em simular uma carga elétrica inserida em um Campo Elétrico a partir do repouso (velocidade inicial igual a zero). Com isso, o estudante foi orientado a alterar os parâmetros do Simulador em questão, colocando a velocidade inicial da carga no sentido do eixo x (V_{x0} , parâmetro II) em 0, isso, porque a velocidade inicial da carga no sentido x vem pré-definida em 1m/s, e o valor do Campo Elétrico no sentido do eixo x (E_x , parâmetro IV) em 1N/C.

Pode ser visto na Figura 23 que, ao simular com esses parâmetros, a carga elétrica se movimenta no sentido do Campo Elétrico, pois esse movimento não depende da velocidade da carga (Equação 2) e com isso o valor da força Elétrica não muda.

Figura 23 – Imagem da primeira Simulação do roteiro

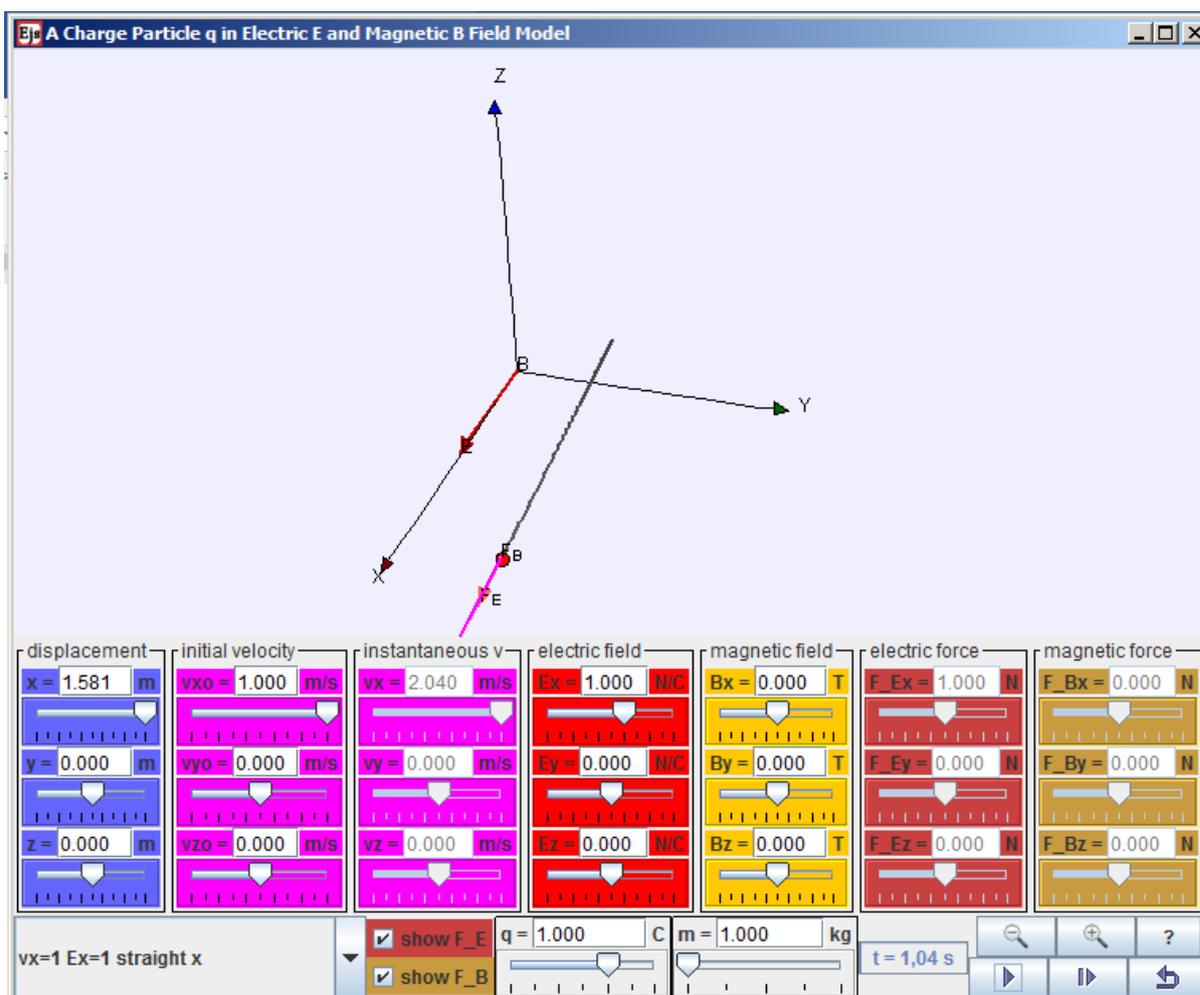


Fonte: A pesquisa

Já para a segunda Simulação, foi proposto, por meio do roteiro, que o estudante simulasse uma situação em que a carga elétrica possuísse um valor inicial para a velocidade no mesmo sentido do Campo Elétrico.

Pode ser visto, na Figura 24 abaixo, que o resultado dessa Simulação é semelhante à anterior e que, nos dois casos, a carga sofre uma aceleração constante no sentido do campo. Isto é evidente pois as imagens dessas duas simulações foram pausadas aproximadamente em 1 segundo, e a velocidade instantânea da segunda Simulação mostra-se maior do que a primeira (quase o dobro), porque esta possui uma velocidade inicial no sentido do campo. A aceleração da carga elétrica pode ser evidenciada pelas equações usuais da mecânica.

Figura 24 – Imagem da segunda Simulação do roteiro

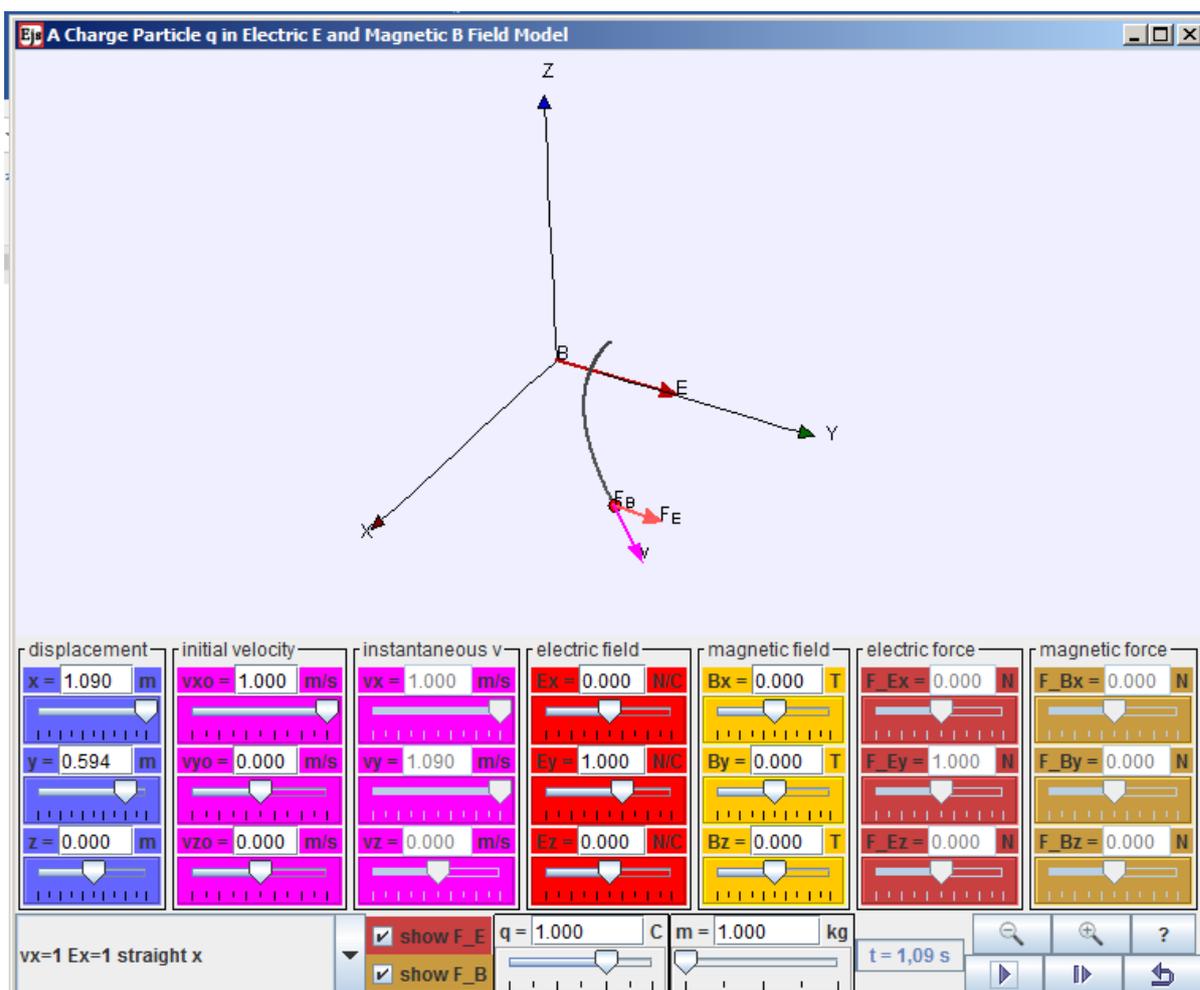


Fonte: A pesquisa

A terceira atividade proposta pelo roteiro de Simulação sugere que o estudante altere os parâmetros de velocidade e Campo Elétrico como sendo um ortogonal ao outro. Colocando, desse modo, o parâmetro do Simulador referente à velocidade inicial no sentido do eixo x (V_{x0} , parâmetro II) em 1 m/s, e o valor do Campo Elétrico no sentido do eixo y (E_y , parâmetro IV) em 1N/C.

Como resultado dessa Simulação, podemos ver que a carga elétrica assume a direção do Campo Elétrico no sentido de Y, porém, depois de algum tempo, devido a esse desvio inicial entre o campo e a velocidade. Além disso, assim como as simulações anteriores, o valor da força elétrica que atua sobre a carga não se altera. Isso pode ser visto porque o valor de F_{Ex} nas imagens das duas primeiras simulações permanece constante em 1N e F_{Ey} na terceira Simulação também.

Figura 25 – Imagem da terceira Simulação do roteiro

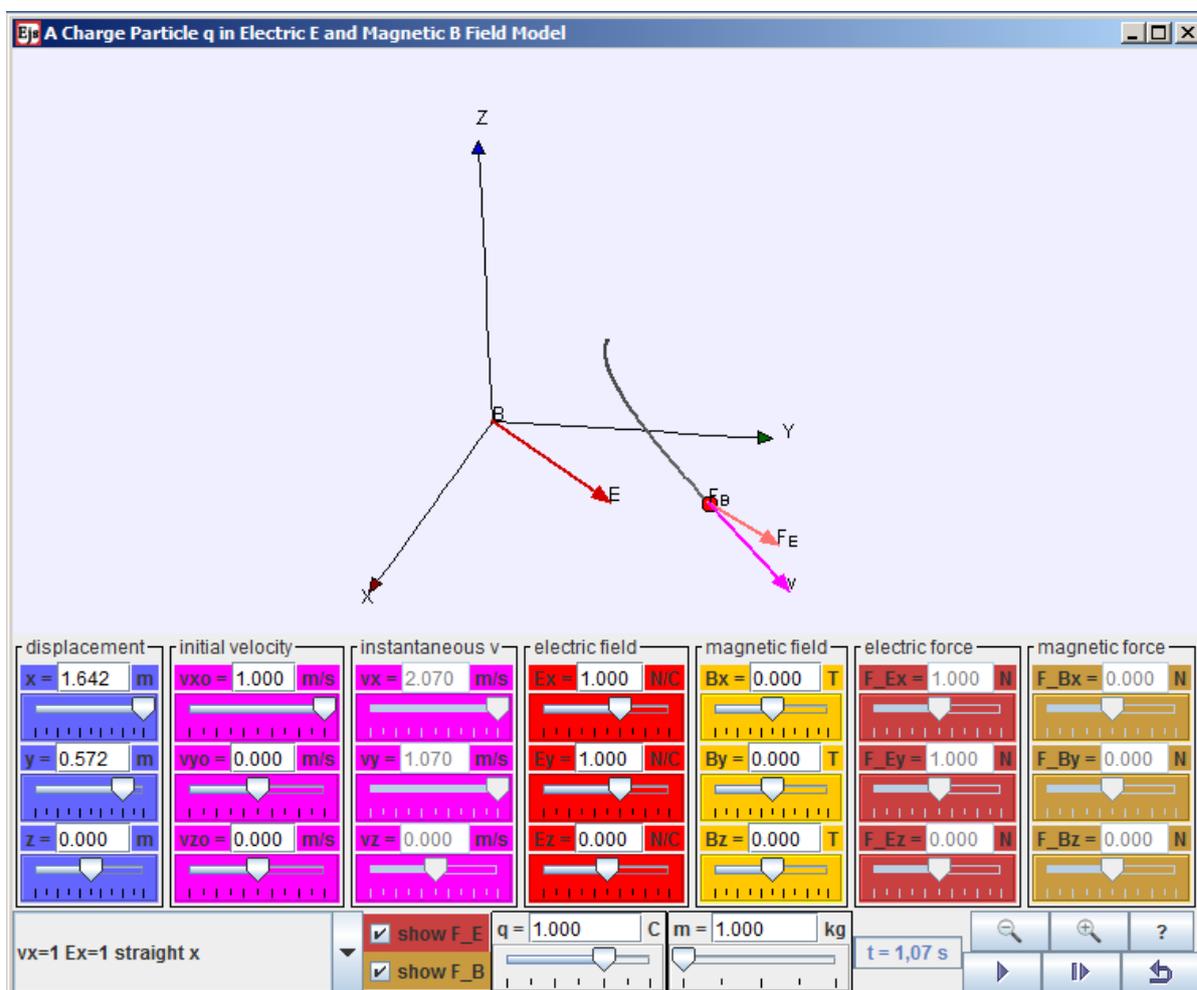


Fonte: A pesquisa

A quarta Simulação assemelha-se à terceira, porém é pedido que o estudante altere o valor do Campo Elétrico no sentido de x e no sentido de y, resultando, assim, em um vetor resultante do Campo Elétrico a 45° , tanto do eixo x quanto do eixo y, que pode ser visto na Figura 26.

O resultado da Simulação fica semelhante ao anterior, no entanto, com uma pequena diferença na inclinação da curva devido à direção do Campo Elétrico resultante. E pode ser visto também que o valor da força resultante do Campo Elétrico que atua sobre a carga não se altera, permanecendo em 1N, tanto no sentido de x (F_{Ex}) como no sentido de y (F_{Ey}).

Figura 26 - Imagem da quarta Simulação do roteiro



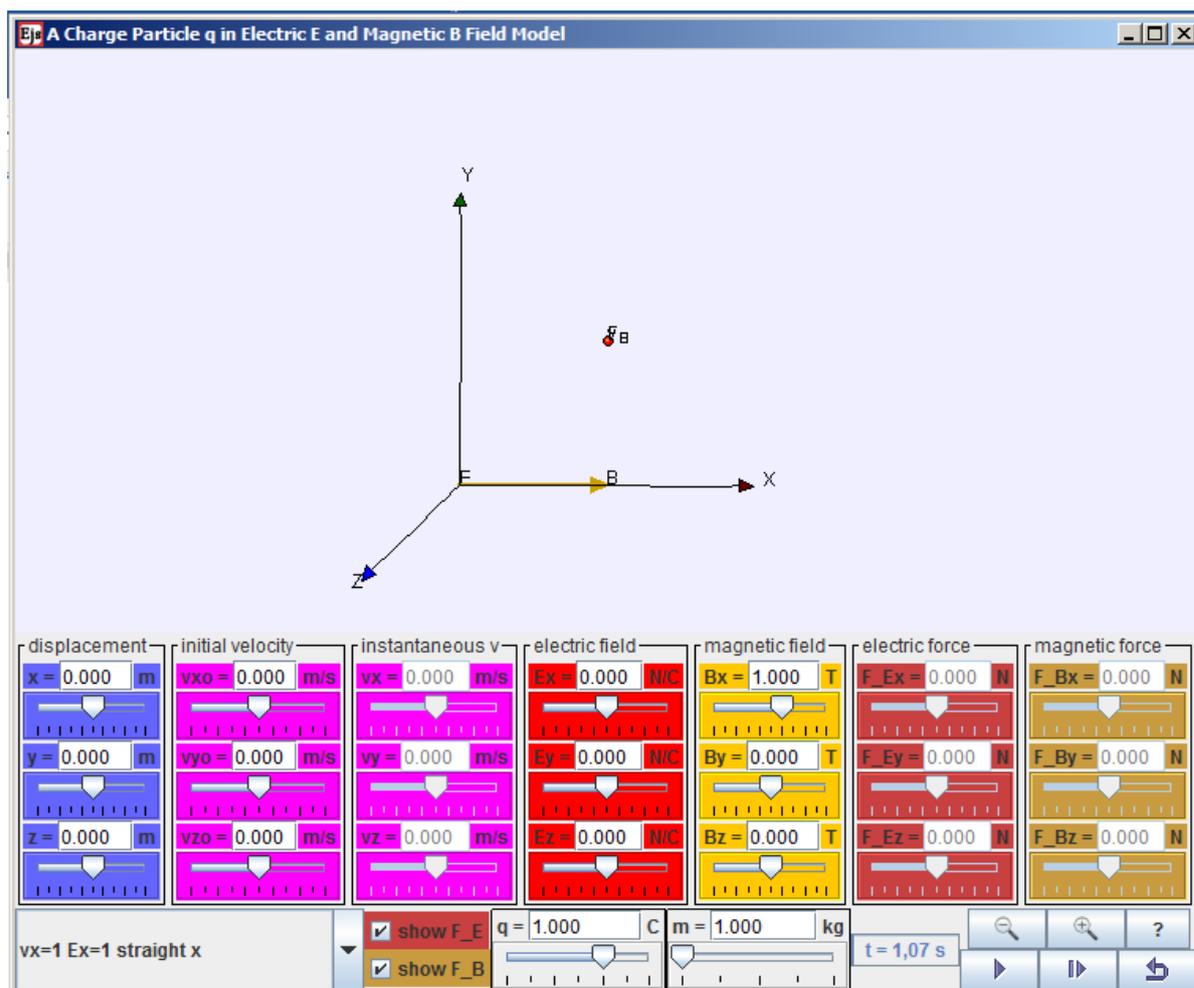
Fonte: A pesquisa

As próximas simulações referem-se à carga elétrica imersa em um Campo Magnético. Com isso, a quinta Simulação se propõe a demonstrar a interação entre a carga elétrica e o Campo Magnético, alterando-se alguns parâmetros como o da velocidade e as componentes do campo.

Para simular a quinta atividade do roteiro de utilização do *Software*, foi sugerido que os alunos alterassem os parâmetros do Simulador, colocando a velocidade inicial no sentido do eixo x (V_{x0} , parâmetro II) em 0, e o valor do Campo Magnético no sentido do eixo x (B_x , parâmetro V) em 1T. Ou seja, essa atividade propõe ao estudante visualizar o que irá acontecer com uma carga imersa em um Campo Magnético e essa está inicialmente em repouso.

A Figura 27 abaixo mostra, assim como as outras, o que aconteceu com a carga depois de aproximadamente 1 segundo. Observa-se que a carga permaneceu em repouso e que todos os parâmetros estão zerados, com exceção do tempo e do valor do Campo Magnético, que foi solicitado a ser 1T pelo roteiro.

Figura 27 – Imagem da quinta Simulação do roteiro

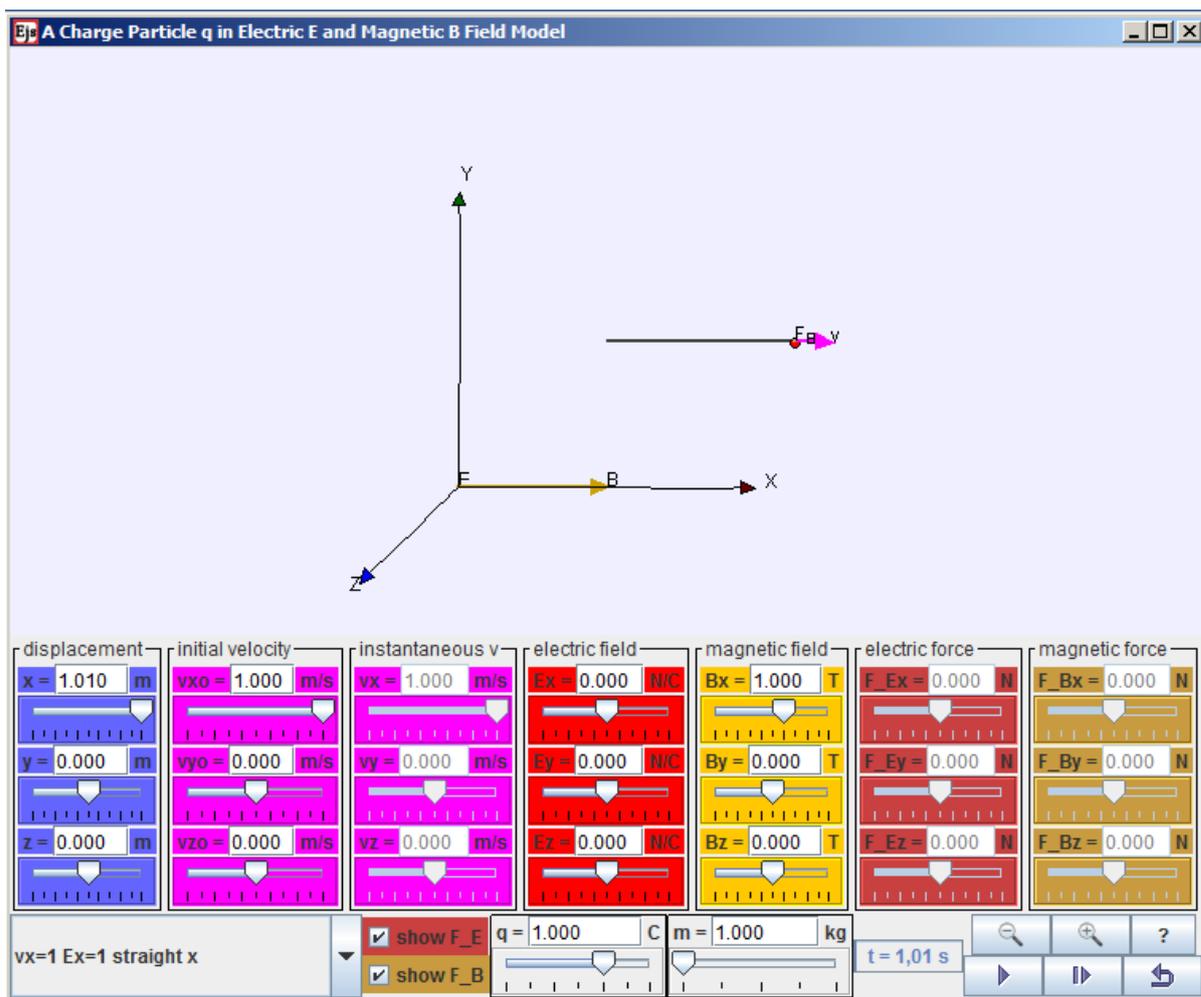


Fonte: A pesquisa

A sexta atividade proposta pelo roteiro de atividades simula a carga elétrica imersa em um Campo Magnético com uma velocidade inicial. Logo, os parâmetros alterados na Simulação foram o da velocidade inicial, no sentido do eixo x (V_{x0} , parâmetro II) em 1m/s, e o valor do Campo Magnético, no sentido do eixo x (B_x , parâmetro V) em 1T.

Com essa configuração de parâmetros da Simulação, nota-se que (Figura 28) a carga não altera o seu valor da velocidade instantânea, permanecendo o mesmo valor da velocidade inicial, ou seja, não possui aceleração (MRU).

Figura 28 - Imagem da sexta Simulação do roteiro



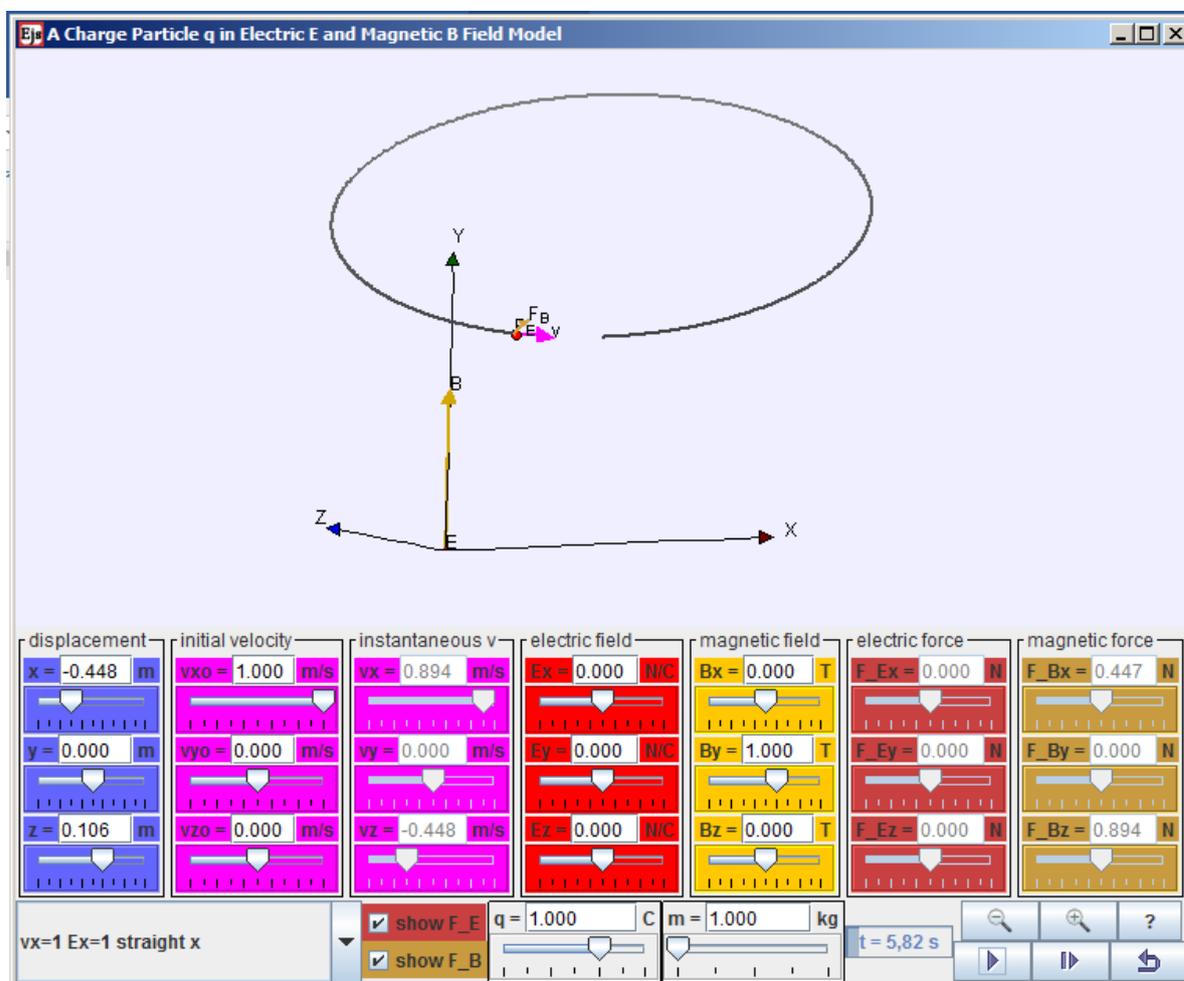
Fonte: A pesquisa

A sétima atividade proposta pelo roteiro foi a possibilidade de que a carga possua uma velocidade inicial perpendicular ao Campo Magnético Uniforme. Com isso, os parâmetros do Simulador que foram alterados foram a velocidade inicial no sentido do eixo x (V_{x0} , parâmetro II) em 1m/s, e o valor do Campo Magnético no sentido do eixo y (B_y , parâmetro V) em 1T.

Neste caso (como pode ser visto na Figura 29), a carga percorre um caminho circular, ou seja, ela possui um movimento circular uniforme (MCU). A velocidade da

carga é mostrada através das componentes de velocidade no sentido de x e z, pois elas mostram a decomposição vetorial da velocidade de 1m/s no plano xz.

Figura 29 - Imagem da sétima Simulação do roteiro

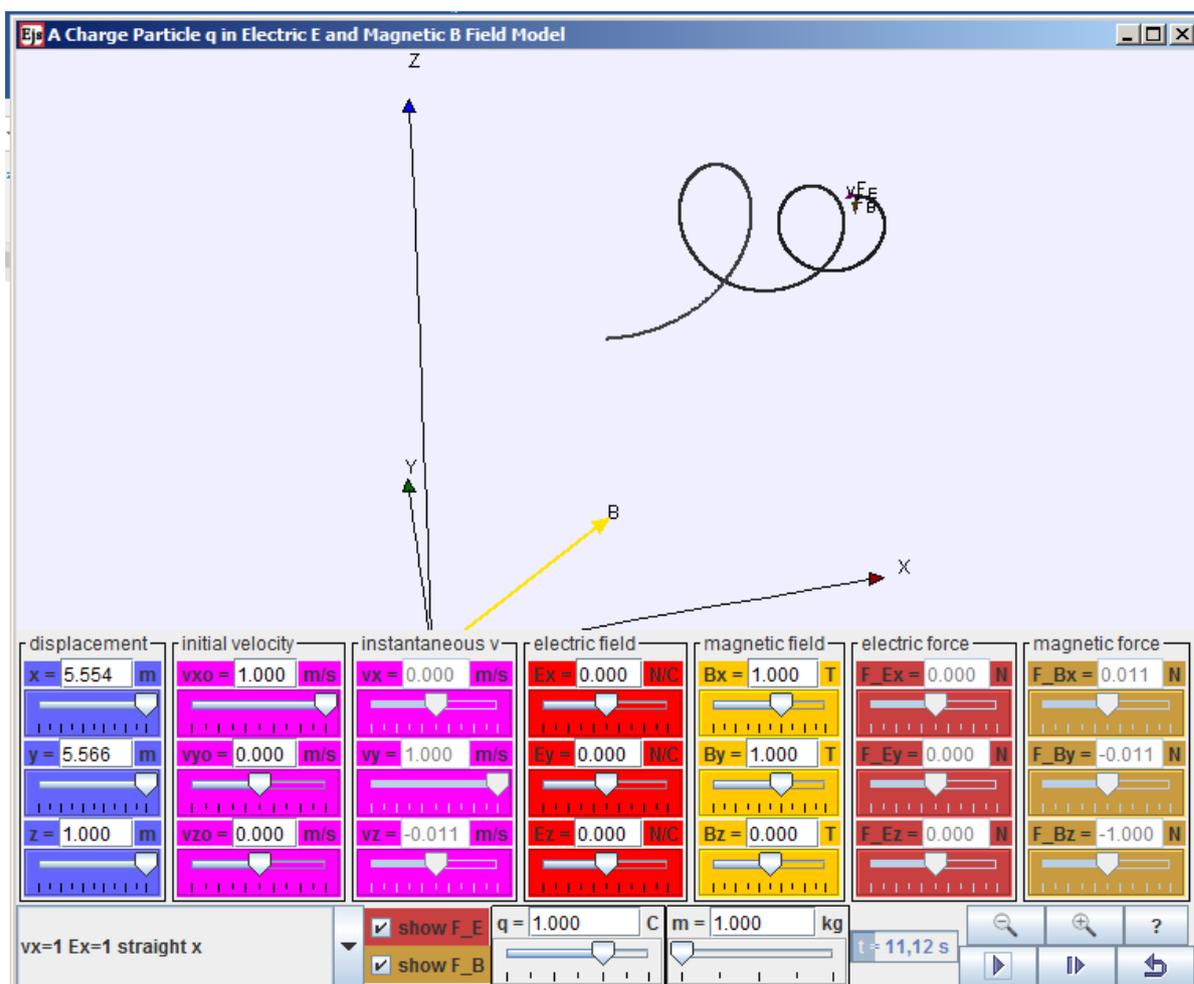


Fonte: A pesquisa

Por último, a oitava atividade proposta no roteiro de utilização do Simulador foi simulada a situação em que a carga possui uma velocidade inicial no sentido de x, e duas componentes do Campo Magnético: uma no sentido do eixo x, e a outra, no sentido do eixo y. Ademais, o parâmetro da velocidade inicial se dá no sentido do eixo x (V_{x0} , parâmetro II) em 1m/s, e o valor do Campo Magnético no sentido do eixo x (B_x , parâmetro V) em 1T e no sentido do eixo y (B_y , parâmetro V), também em 1T.

Abaixo (Figura 30) podemos ver o resultado da interação da carga com o Campo Magnético proposto. O caminho percorrido pela carga é o de uma espira, devido à relação vetorial entre a velocidade da carga e o sentido do Campo Magnético.

Figura 30 - Imagem da oitava Simulação do roteiro



Fonte: A pesquisa

6.6 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras formaram um grupo de análise. Este grupo foi constituído por seis estudantes do curso de Licenciatura em Física da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA/Canoas). Todos os alunos foram selecionados com a utilização de somente um critério que foi o fato de eles já terem cursado a disciplina de Eletromagnetismo.

A participação de cada estudante nesse estudo foi voluntária, e os encontros foram marcados sempre em um horário além do tempo que os alunos tinham em sala de aula. Foi solicitado que os alunos assinassem um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice - A) visando garantir ao sujeito da pesquisa o respeito aos seus direitos.

Para concluir o curso os alunos de Licenciatura necessitam alcançar um determinado número de horas complementares, diante disso, foi disponibilizado também aos alunos um atestado de horas complementares (Apêndice - B) referente ao tempo que estes participaram da pesquisa.

Cabe salientar a dificuldade encontrada em conseguir sujeitos para a pesquisa, haja visto que os cursos de Licenciatura em Física, além da diminuição do interesse dos brasileiros nas licenciaturas em geral, possui um alto índice de desistência.

6.7 ENTREVISTA INDIVIDUAL

Foi realizada uma entrevista individual com os sujeitos da pesquisa aproximadamente uma semana após eles utilizarem o Simulador Computacional. Essa entrevista teve como principal objetivo propiciar ao estudante que explicasse como resolveu as questões ou o grupo de questões propostas pelo pré e pós-teste, visando a entender quais foram os processos de pensamento desencadeados para a resolução dos problemas apresentados.

Com isso, essa entrevista, após a utilização da Simulação Computacional, tem como objetivo buscar evidências de possíveis mudanças no processo de raciocínio dos estudantes quando estes resolveram as questões do pós-teste em comparação com o pré-teste.

Essa comparação é feita ao longo da entrevista, e os estudantes são questionados sobre as diferenças nas respostas que eventualmente são identificadas. Nessa etapa teve a tentativa de identificar como e quando as representações e os *drivers* foram adquiridos e, com isso, pode-se identificar qual o papel da Simulação Computacional no processo de ensino-aprendizagem.

A metodologia utilizada na entrevista foi a técnica de entrevista conhecida como *Report Aloud* que é oriunda do protocolo *Think Aloud* (SOMEREN, 1994). No protocolo *Think Aloud*, o sujeito pensa em voz alta, enquanto está no processo de resolução da situação problema, e, com isso, o entrevistador está diretamente buscando identificar o raciocínio utilizado pelo estudante.

Esse protocolo tem a conhecida desvantagem de alterar a atividade de resolução de problema, pois a resolução sobre como o problema será resolvido é

maior do que se o estudante estivesse resolvendo sozinho, tanto pelo emprego da técnica como pela presença do observador.

Já no protocolo *Report Aloud*, essa tarefa de pensar em voz alta é realizada depois que o sujeito resolveu a situação problema. Com isso, entende-se que o processo de resolução dos problemas não é perturbado pela técnica, uma vez que ele ocorre de maneira mais natural e a entrevista ocorre após a resolução dos problemas.



7 ANÁLISE DOS EXPERIMENTOS

Conforme foi comentado anteriormente, o objetivo geral deste trabalho consiste em investigar *como o uso de Softwares de Simulação no ensino de Física, mais especificamente, em conceitos que envolvem a Força de Lorentz, podem auxiliar no aprendizado conceitual dessa área da física.*

Com isso, passa-se a analisar de forma detalhada, neste Capítulo, os aspectos abordados pelos estudantes nas respostas às questões do pré-teste, do pós-teste, assim como as respostas às questões que foram propostas no roteiro de utilização da Simulação Computacional. Também segue a análise gestual e discursiva dos alunos durante a entrevista que foi realizada posteriormente à utilização do Simulador.

Desse modo, serão apresentados e discutidos os resultados da análise elaborada visando a responder os objetivos específicos de investigação propostos por esta pesquisa.

7.1 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento deu-se com seis alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Luterana do Brasil na cidade de Canoas estado do Rio Grande do Sul (ULBRA/Canoas). Ao todo, seis alunos de graduação que já tinham concluído com sucesso a disciplina de Eletromagnetismo fizeram parte da pesquisa.

7.2 ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

Por meio desta análise pretende-se investigar as possíveis aquisições de “*drivers*” após o uso de ferramentas computacionais de Simulação envolvendo conceitos de Eletromagnetismo presentes na Força de Lorentz segundo a TMC. Em vista disso, uma análise gestual foi realizada, procurando evidenciar esses “*drivers*”

por intermédio dos gestos utilizados pelos estudantes durante a entrevista quando eles tentavam explicar como se deu a realização dos testes.

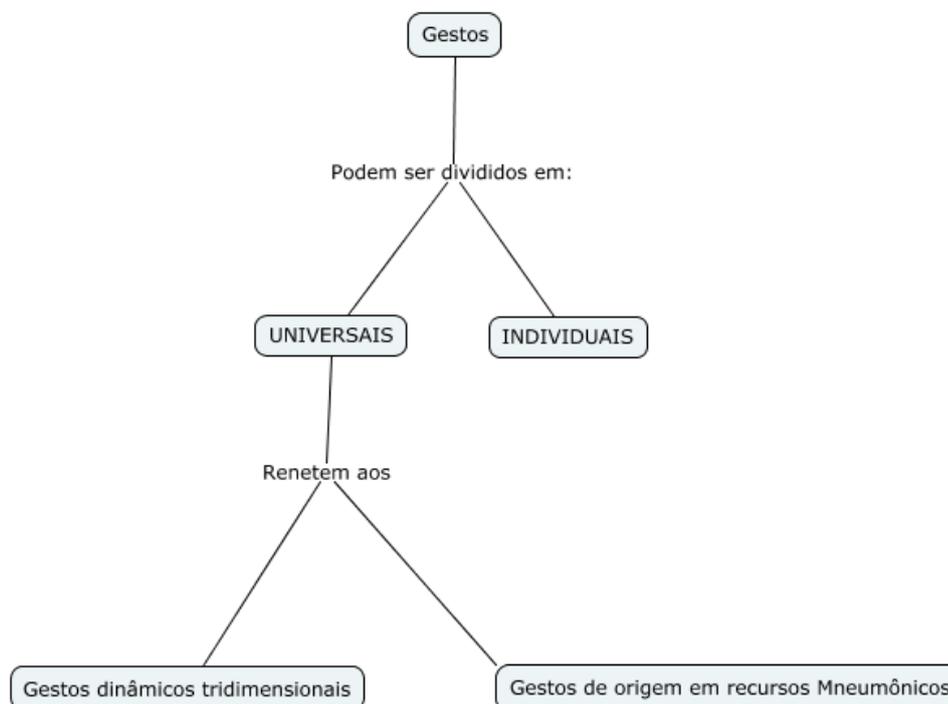
Os gestos foram identificados e nomeados utilizando-se letras e números para distinguir os diferentes gestos encontrados. Esses dados deram origem à Tabela 3, na qual os gestos que estão em negrito são os que foram realizados pela metade ou mais do número de estudantes pesquisados. Foram identificados gestos universais (Apêndice E), utilizados por mais de um estudante e também os gestos individuais (Apêndice F) que foram realizados somente por um dos estudantes (essa divisão pode ser observada na Figura 31 abaixo).

Cabe salientar que, dentro da categoria gestos universais, emergiram duas subcategorias. A primeira surgiu devido ao fato de todos os estudantes utilizarem dois gestos para descrever como resolveram as questões propostas nos testes. Esses dois gestos foram dinâmicos e, na maioria dos casos, representavam o movimento da carga e a tridimensionalidade do campo. Esses gestos foram realizados por 5 dos 6 estudantes e são o “mãos abertas no ar” (MAA) e o “indicador da mão esquerda ou direita” (IME ou IMD).

A outra subcategoria dos gestos universais foi a que indicou que muitos dos estudantes se utilizaram de gestos oriundos de recursos mnemônicos⁴² para explicar como resolveram as questões dos testes, tais como a regra da mão direita para um fio condutor (RMDFC).

⁴² Um recurso mnemônico é um auxiliar de memória utilizado para memorizar listas ou fórmulas, e baseia-se em uma forma mais simples de memorizar maiores construções, baseados no princípio de que a mente humana tem mais facilidade de memorizar dados quando estes são associados a informação pessoal, espacial ou de carácter relativamente importante, do que dados organizados de forma não sugestiva (para o indivíduo) ou sem significado aparente (PRESSLEY e LEVIN, 1983).

Figura 31 – Divisão dos gestos realizados pelos estudantes



Fonte: A pesquisa

Por meio dos gestos universais e individuais, percebeu-se que os estudantes evoluíram com relação a resolução de problemas de aspectos relacionados a Força de Lorentz de maneira geral, pois eles diferenciaram a Força elétrica da Força Magnética fazendo da utilização do mecanismo hipercultural de processamento externo um coadjuvante para explicar como resolveram as situações problemas. Portanto, recomenda-se o uso das simulações computacionais para o entendimento da Força de Lorentz.

Todos os estudantes demonstraram que possuem *drivers* sociais e os utilizaram para a resolução de alguns problemas envolvendo aspectos da Força de Lorentz. Esses *drivers* são, na sua maioria, oriundos dos recursos mnemônicos comumente utilizados pelos professores em sala de aula para facilitar o entendimento, por parte dos alunos, de algumas representações científicas.

A Simulação Computacional não auxiliou para uma compreensão mais abrangente (com um perfil Maxwelliano) de alguns aspectos de eletromagnetismo propostos neste estudo, dentre eles, o conceito de carga elétrica e o conceito de campo.

Tabela 3 - Identificação dos gestos realizados pelos estudantes

A1	A2	A3	A4	A5	A6
2MMD					
	3DME			3DME	
3DMD	3DMD		3DMD	3DMD	
	3DMDC				
AC					
IME		IMD	IME	IMD	IMD
		IMDAD			MDA
		IMDA			
		IMDC			
	LIV				
MAA		MAA	MAA	MAA	MAA
	MC		MCMD e MCME	MC	MC
MDMD	MDMD				
MDP					
MAE					MAD
MEP		MEP			
MS					
PMDE					PMDE
PMDEJ					
					RMDCI
RMDFC		RMDFC			RMDFC
	SCAMD	SCAMD	SCAMD	SCAMD	
	SCAME			SCAME	

Fonte: A pesquisa

Será apresentada, a seguir, a análise referente a cada estudante com relação aos gestos por ele produzidos (Tabela 3), recortes do discurso apresentado pelos estudantes, e algumas respostas deles aos testes e ao roteiro, para, assim, mostrar as evidências produzidas por cada estudante com relação às possíveis evoluções conceituais a partir da utilização do Simulador Computacional.

7.2.1 Análise dos dados e resultados do aluno A1

O aluno 1 (A1), durante a entrevista, demonstrou ter conhecimentos prévios a respeito de alguns aspectos presentes na Força de Lorentz, pois marcou as alternativas corretas para boa parte das questões propostas, tanto no pré-teste como no pós-teste.

Esse aluno, em alguns momentos, demonstrou ter um entendimento limitado a respeito de alguns aspectos do assunto, uma vez que, ao responder a primeira questão do pré-teste (O que você entende sobre força de Lorentz?), escreve o seguinte: *“É a força gerada a partir de uma carga e um campo magnético”*. Isso demonstra que ele tem conhecimentos a respeito dos conceitos de força, carga e Campo Magnético, contudo, essa não é a correta definição da Força de Lorentz.

E com relação à questão 9 do pré-teste (Escreva como se você estivesse explicando para um colega, como se dão as possíveis forças que atuam sobre uma carga elétrica. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achar necessário), o aluno respondeu:

Quando largada em um Campo Elétrico, uma carga sofre uma força magnética que irá depender do módulo do campo, do módulo e do sinal da carga, da velocidade da carga, e do ângulo que essa velocidade faz com as linhas de campo. Também há a força elétrica entre duas cargas, que depende do módulo e do sinal das cargas e da distância entre elas.

Nas respostas a essa questão, o estudante mostra um melhor desenvolvimento da explicação, porém confunde-se quando trata da força magnética que atua na carga quando ela se encontra em um Campo Elétrico. No final da escrita, o aluno faz uma referência à lei de Coulomb quando se refere à força elétrica devido à interação de duas cargas.

O aluno possui imagens mentais de origem social, ou seja, da relação aluno-professor, como pode ser observado no diálogo abaixo.

A1: A simulação me ajudou a lembrar 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.

P: Então quando tu estavas usando o simulador ele te ajudou a lembrar da regra da mão direita.

A1: Isso !
 P: E quando tu lembrou da regra da mão direita tu lembravas de que?
 A1: Do Jeferson (professor) de eletromagnetismo.
 P: Tu teve quando esta disciplina?
 A1: Semestre passado
 P: Daí tu lembrou como, ele explicando?
 A1: Eu lembrei dele explicando com a mão [08:41, #RMDFC⁴³] no quadro mesmo.

Com isso, podemos observar também que o estudante utiliza o Simulador como um “campo de testes” para o entendimento de alguns aspectos do Eletromagnetismo, e a Simulação Computacional auxilia o estudante a relembrar alguns aspectos, que ele já sabia, a respeito da Força de Lorentz. Isso pode ser observado neste diálogo:

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 alguns equívocos, 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 por meio de uma mediação social, porque ele aprendeu a regra da mão direita em sala de aula, porquanto, na

⁴³ #RMDFC – Regra da mão direita aplicada a um fio condutor. O estudante levanta o dedo polegar direito no ar, formando assim um eixo de referência e, de maneira côncava, utiliza os outros quatro dedos ao redor deste. Imagem dinâmica.

Simulação, em nenhum momento, aparece essa regra. O aluno comenta que a utilização da Simulação Computacional o auxiliou a lembrar desses aspectos:

A1: Ele (o simulador computacional) me ajudou a relembrar alguns pontos como a regra da mão direita.

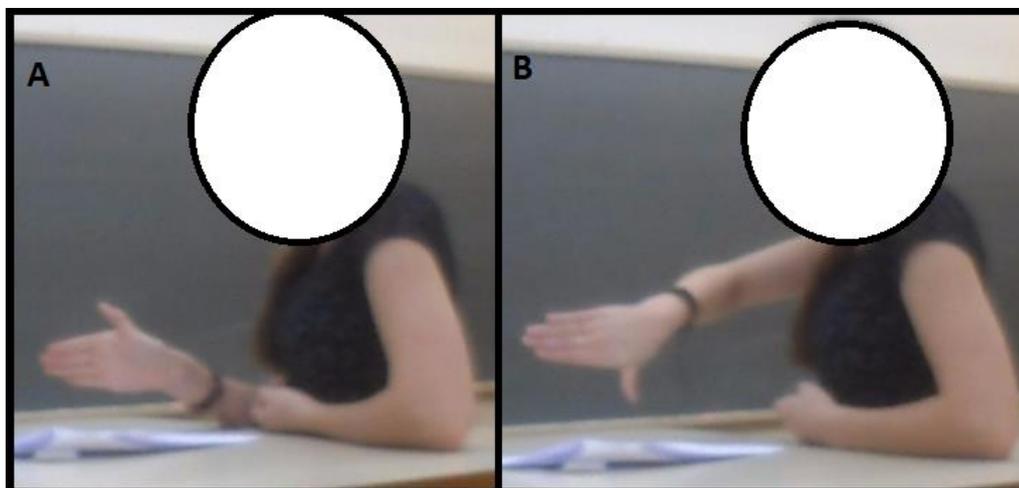
P: Mas tem no simulador a regra da mão direita?

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

O aluno deixa claro que a utilização da Simulação Computacional trouxe a lembrança do seu professor em sala de aula. Sobre esse fato, Souza (2004) comenta que isso se caracteriza por uma evolução na forma de mediação cognitiva, pois, primeiramente, o aluno demonstrou ter um *driver* social e este evoluiu para um *driver* que possui uma forma mais complexa de mediação que é a hipercultural, como será explicado mais adiante.

Na Figura 32⁴⁴ podem ser vistos os gestos que o aluno utiliza com a mão direita na tentativa de resolver a questão proposta.

Figura 32 - Gestos do aluno 1 indicando a regra da mão direita.



Fonte: A pesquisa

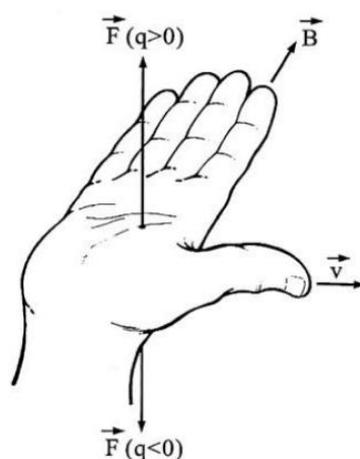
Esse gesto foi caracterizado como sendo o #3DMD, mesmo esse se tratando da “regra do tapa”, pois entende-se que esses dois gestos se utilizam uma

⁴⁴ #3DMD – Três dedos da mão direita. Os três dedos da mão direita, polegar o indicador e o dedo médio, estão posicionados no ar formando um ângulo de 90 graus entre si. Imagem estática.

representação mnemônica para demonstrar a força magnética resultante por meio da multiplicação vetorial entre o campo e a velocidade.

Sendo a questão a respeito da Força Magnética resultante que atua sobre uma carga, essa Força Magnética é o resultado do produto vetorial entre a velocidade \vec{V} e o Campo Magnético \vec{B} (Equação 1). Esse 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 (ou regra do “tapa”), como como pode ser visto na Figura 33.

Figura 33 - Regra da mão direita para a força magnética que atua em uma carga



Fonte: Internet⁴⁵

Nota-se que os gestos do aluno querem indicar esse produto vetorial, e que alguns equívocos foram cometidos pelo aluno que utilizou 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.

Apesar de A1 não utilizar de maneira correta essa regra, fica claro que ele possui *drivers* oriundos da mediação social, *drivers* estes que ele 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* hiperculturais devido à utilização da Simulação Computacional para explicar algumas

⁴⁵ Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/3437332/> . Acesso em: 10 de maio de 2018.

questões quando este se remete ao movimento dinâmico que a carga faz na Simulação (Figuras 34 e 35).

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} .

Esta diferenciação entre Força Elétrica e Força Magnética que pode atuar sobre uma carga nem sempre é apresentada durante o curso de Física Licenciatura aos alunos. Em certos momentos, apresentam-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.

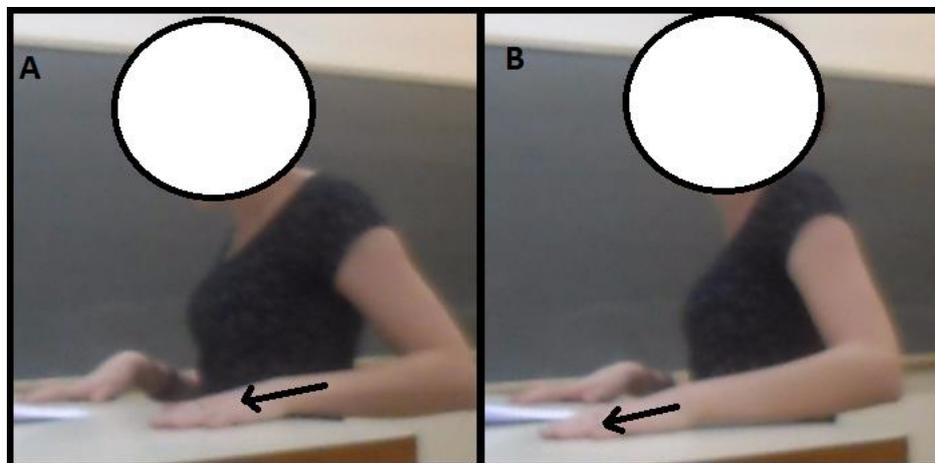
P: Então alguma coisa mudou para ti antes e depois da simulação.

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

Esta diferenciação entre a Força Elétrica resultante sobre a carga, ou seja, a carga se move ao longo da representação vetorial do Campo Elétrico ($q\vec{E}$), e a Força Magnética resultante, sobre a carga, ($q(\vec{v}\times\vec{B})$), feita por A1 pode ser vista por meio dos gestos realizados pelo aluno que representam uma imagem mental que ele possui, o que é demonstrado na Figura 34⁴⁶.

⁴⁶ #MAE – Mão aberta esquerda. A mão esquerda está aberta sobre a mesa e faz um movimento de deslize sob ela. Imagem dinâmica. Este movimento se aproxima muito do #IME – Indicador da mão esquerda. A mão esquerda está fechada e tem somente o indicador apontando para o papel e fazendo um leve movimento para frente. Imagem dinâmica.

Figura 34 - 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 movimenta a mão esquerda, indicando que a carga acompanha o sentido do Campo Elétrico (imagem dinâmica) (Figura 34) e também, em um momento da entrevista, o estudante utiliza um gesto caracterizado como IME⁴⁷ para indicar o movimento da carga.

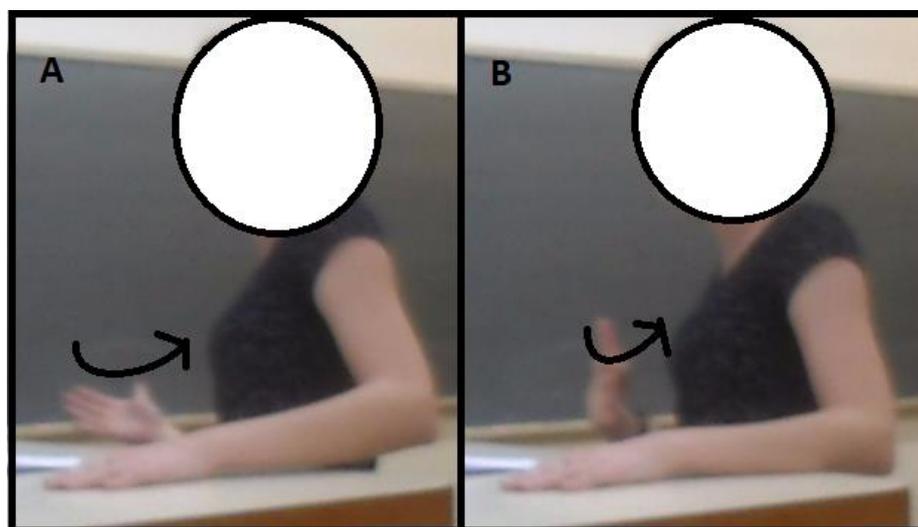
P: Me explica como é essa coisa dos dedos para a força? Onde está a força aqui?

A1: Eu interpretei como ela (a carga) [02:59, # IME] está se deslocando para cima a força está para cima.

Já em outra imagem (Figura 35), 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 ou regra do tapa (imagem dinâmica).

⁴⁷ #IME – Indicador da mão esquerda. A mão esquerda está fechada e tem somente o indicador apontando para o papel e fazendo um leve movimento para frente. Imagem dinâmica.

Figura 35 - Movimento da mão de A1 demonstrando a força magnética resultante sobre a carga



Fonte: A pesquisa

A entrevista foi realizada uma semana após o aluno utilizar a Simulação Computacional e este demonstrou, por gestos oriundos da Simulação Computacional, que possui imagens mentais referentes ao *Software* (*driver* hipercultural) e por meio dessas imagens mentais representadas por A1 nas Figuras 34 e 35 o aluno tentou reproduzir o que aconteceu durante a Simulação.

Além disso, a resposta do aluno à questão 9 do pós-teste (Escreva como se você estivesse explicando para um colega, como se dão as possíveis forças que atuam sobre uma carga elétrica. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achar necessário) foi mais completa do que a resposta e essa questão no pré-teste, como segue:

Uma força elétrica pode atuar sobre uma carga através de um Campo Elétrico, e irá mover essa carga no sentido do campo. Uma força magnética pode atuar sobre uma carga através de um Campo Magnético. Essa força irá depender do ângulo formado entre a velocidade e o campo.

Sendo assim, 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.

Por mais que esse estudante se utilizou de um *driver* social para explicar como resolveu algumas questões, as representações dinâmicas do movimento da carga,

feitas por ele, mostram que *drivers* hiperculturais também foram internalizados por ele. Esse processo permitiu ao aluno um ganho de representação que possibilitou que ele pensasse de uma outra forma durante a resolução dos problemas propostos, chegando a alterar as respostas de algumas questões, resolvendo-as da maneira correta, como pode ser visto na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Respostas do Aluno-A1 aos problemas no pré e no pós-teste

Questão	2	3	4	5	6	7	8
Pré-teste	"b"	"e"	"d"	"c"	"c"	"d"	"b"
Pós-teste	"b"	"e"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"
Gabarito	"c"	"e"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"

Fonte: A pesquisa

Os problemas referentes às questões 5, 6 e 8 foram resolvidos corretamente, o que nos leva a entender que a representação tridimensional da Simulação Computacional se mostra válida para a visualização de certos aspectos de eletromagnetismo, que, neste caso, auxiliaram o estudante a resolver problemas que antes não tinham sido resolvidos corretamente.

Porém, o mecanismo externo de mediação, em alguns momentos, não auxiliou o estudante com relação à correta definição de alguns exemplos. Pois, ao questionar o aluno A1 sobre a sua compreensão de aspectos referente à carga elétrica, ele, inicialmente, diz não possuir uma imagem clara sobre ela, como pode ser visto no recorte da entrevista abaixo.

P: Tem alguma imagem na tua cabeça?

A1: Imagem eu acho que não...

P: Tu imaginas a carga?

A1: É, as linhas de campo [05:58, #MAA] e a carga assim.

P: Me explica como é isso, a carga está na tua frente?

A1: Não é nada muito concreto na realidade assim só...

O aluno se utiliza do gesto intitulado MAA⁴⁸ (mãos abertas no ar) para explicar o conceito de carga elétrica e, logo após, na entrevista, ele comenta que a carga elétrica é um ponto, como pode ser observado abaixo.

⁴⁸ #MAA – Mãos abertas no ar. As mãos estão abertas no ar uma de frente para a outra e constantemente se movimentam uma na frente da outra e também movimentando um pouco os dedos. Imagem dinâmica.

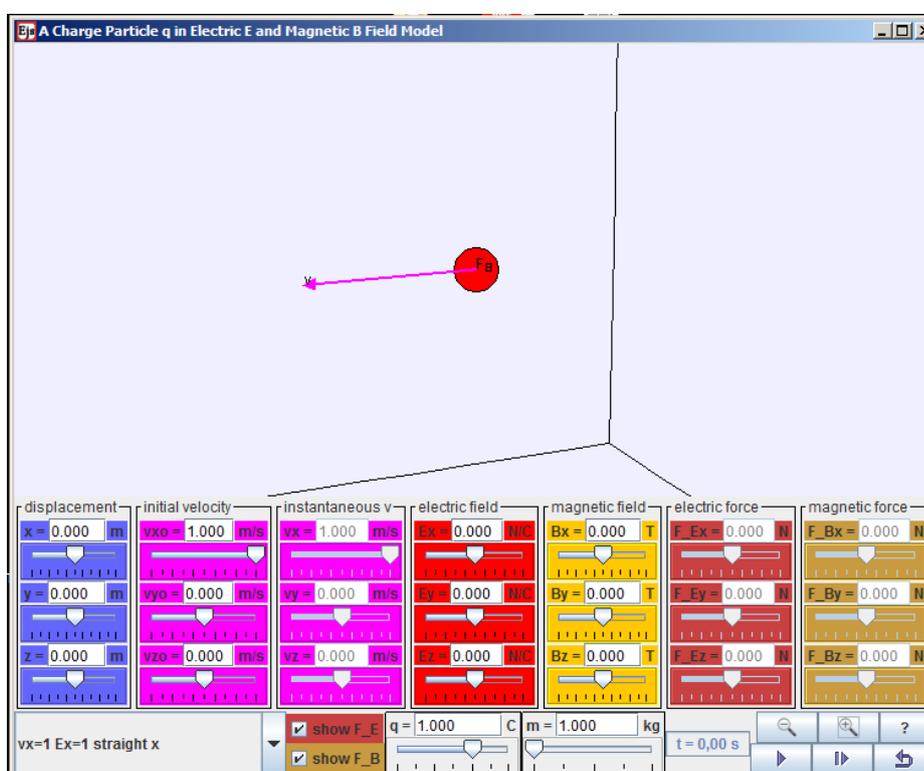
A1: Não, eu imagino como se fosse um gráfico assim [06:36, #MAA].

P: Ah tu imaginas um gráfico, e a carga?

A1: Um ponto.

Entendemos que a representação da carga como sendo um ponto, comentada pelo aluno e demonstrada com o gesto, é um *driver* hipercultural devido à utilização da Simulação Computacional, porquanto o *Software* utilizado pelos estudantes representa a carga elétrica como um ponto. A Figura 36 mostra a carga elétrica na Simulação Computacional, e ela claramente é um ponto (ou uma pequena bola).

Figura 36 - Representação da carga elétrica pelo Simulador Computacional



Fonte: A pesquisa

Com relação ao conceito geral de Campo (Elétrico ou Magnético), o estudante não conseguiu explicar o seu entendimento ou uma definição mais elaborada a respeito desse tema. Vários autores têm comentado acerca da dificuldade de compreensão por parte dos estudantes de aspectos relacionados ao eletromagnetismo e que esse assunto é considerado pelos alunos como difícil e, portanto, pouco atraente (GUISASOLA et al., 2007).

No decorrer da entrevista, quando questionado, o aluno tentou aprimorar sua explicação a respeito de campo, comentando em “linhas”, utilizando-se de gestos, e concordando que a sua representação é vetorial. A entrevista desse estudante demonstrou que ele se deu conta de explicar uma vaga ideia do conceito, como pode ser visto abaixo.

P: E começando pelo campo, como é a “cara” do campo como tu descreverias ele?

A1: Eu imagino as linhas de campo [06:19, #MEP].

P: Elas são vetoriais ou não?

A1: Sim são vetoriais.

Mesmo após uma insistência do entrevistador, o estudante não demonstrou uma maior explicação ou qualquer evidência de *drivers* referentes ao conceito de campo ou a um modelo mental deste ou até com relação à diferenciação entre Campo Elétrico e Campo Magnético.

7.2.2 Análise dos dados e resultados do aluno A2

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 conhecimento de vários aspectos de Eletromagnetismo, e que estes foram adquiridos anteriormente à utilização da Simulação.

Estas palavras que foram utilizadas pelo estudante tiveram como origem a entrevista, pois, na resposta do estudante A5 à primeira questão do pré-teste (O que você entende sobre força de Lorentz?), ele deu uma simples resposta como sendo “a força de um Campo Magnético sobre a carga.”

Ainda com relação à questão 9 do pré-teste (Escreva como se você estivesse explicando para um colega, como se dá as possíveis forças que atuam sobre uma carga elétrica. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achar necessário), o aluno respondeu que: “Cargas Elétricas geram campos Elétricos que interagem entre si”.

Com isso, o aluno comenta que não tem conhecimento a respeito da Força de Lorentz, porém 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?

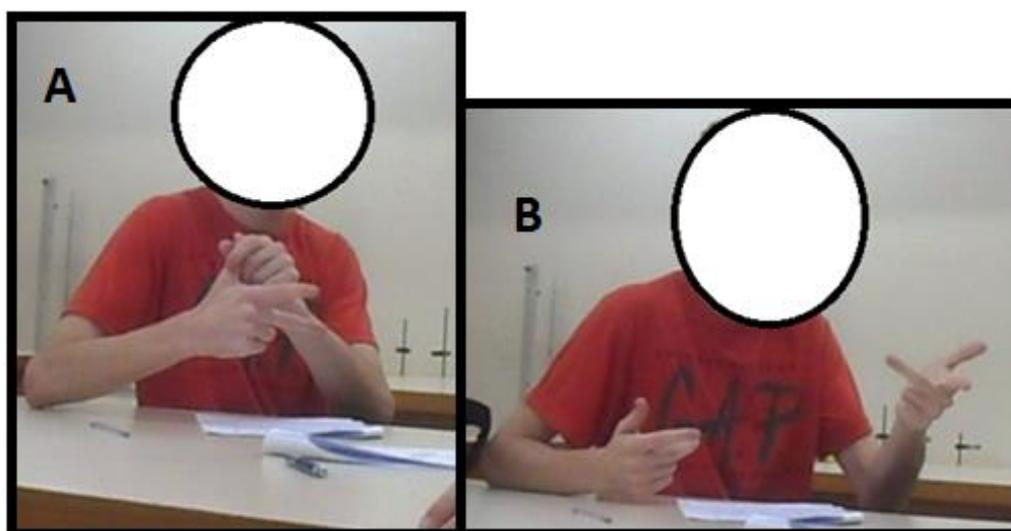
A2: Justamente quando o simulador mostrou a questão do Campo Magnético, eu lembrei que existe uma força sobre uma carga em movimento sob a atuação de um Campo Magnético.

Diante da fala de A2, entende-se que ele não estudou anteriormente a Força de Lorentz na sua totalidade ou não lembra dessa força 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.

Assim como A1, o estudante A2 demonstrou ter conhecimentos prévios a respeito do tema e que envolve um *driver* social oriundo da sala de aula. Nesse caso, o aluno demonstrou ter conhecimento da 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, e essa regra, em nenhum momento, é citada ou mostrada durante a Simulação. A Figura 37 representa a imagem mental que o aluno possui referente à “regra da mão direita”, em que ele utiliza os gestos caracterizados respectivamente como #3DMD e #3DME.

Figura 37 - 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 dessa 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 foi adquirido em sala de aula por intermédio da interação aluno-professor, causando, assim como em A1, um *driver* sociocultural, tendo como mediador a interação social. Abaixo vemos a continuação do diálogo, no qual A2 comenta a incorporação do que ele vê no Simulador com o seu conhecimento prévio a respeito do assunto.

P: E o simulador te mostrou isso?

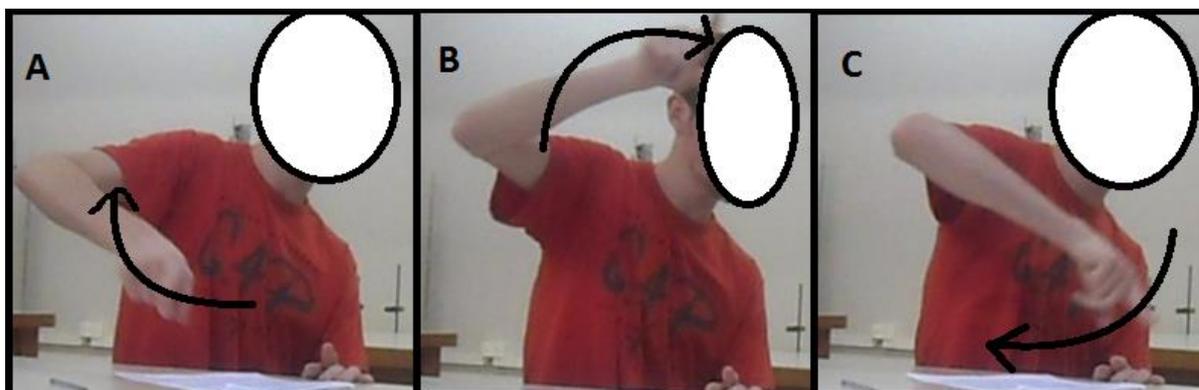
A2: Não, mas eu vi isso na aula e consegui ligar com o simulador. Porque tu tens a velocidade ali e a carga faz esse movimento, que é um movimento de círculo.

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.

O estudante em questão, durante a entrevista, replica com um gesto um dos movimentos realizados pela carga nas simulações propostas pelo roteiro de utilização do *Software*. E esse é um movimento de círculo o qual o aluno demonstra de maneira dinâmica por meio de imagens mentais oriundas da Simulação, como pode ser visto na Figura 38. O gesto utilizado pelo estudante foi caracterizado como #3DMDC⁴⁹.

Figura 38 - Movimento circular dinâmico de uma carga imersa em um Campo Magnético demonstrado pelo aluno A2



Fonte: A pesquisa

⁴⁹ #3DMDC – Três dedos da mão direita em círculo. Os três dedos da mão direita, polegar, indicador e o dedo médio, estão posicionados no ar formando um ângulo de 90 graus entre si, e a mão faz um movimento de círculo no ar. Imagem dinâmica.

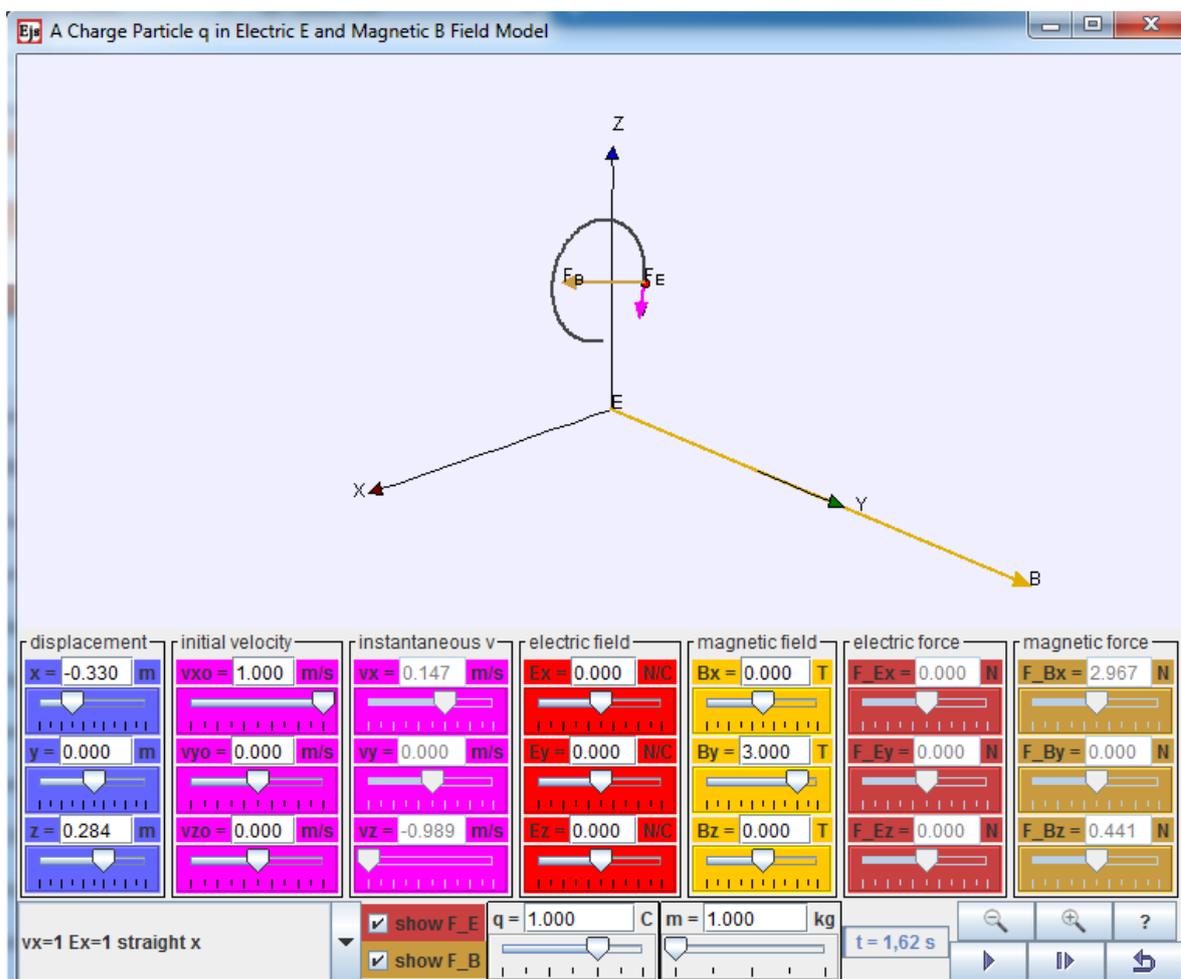
O movimento representado pelo aluno é o mesmo movimento que a carga faz no Simulador da Força de Lorentz quando o ângulo entre a velocidade e o Campo Magnético é 90° , como pode ser visto no próprio resultado da Simulação na Figura 38. Fica evidente que o estudante A2, após utilizar a Simulação Computacional, utiliza-se de gestos que indicam imagens mentais dinâmicas semelhantes às apresentadas durante a Simulação.

Por intermédio do movimento realizado pelo estudante com a mão direita, percebe-se que a Simulação Computacional contribui 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. Nesse caso, entendemos que o estudante A2 demonstra ter uma imagem mental a respeito do movimento da carga que foi observado na Simulação, e o gesto utilizado por ele foi caracterizado como “movimento de círculo⁵⁰”.

Abaixo, na figura 39, pode ser vista a Simulação que o estudante realizou e que deu origem à imagem mental que ele possui após a utilização do Simulador Computacional.

⁵⁰ #MC – Movimento de círculo. A mão direita está fechada contendo somente o dedo indicador apontado para a frente do indivíduo, e a mão faz um movimento de círculo no ar. Imagem dinâmica.

Figura 39 - Movimento circular de uma carga imersa em um Campo Magnético



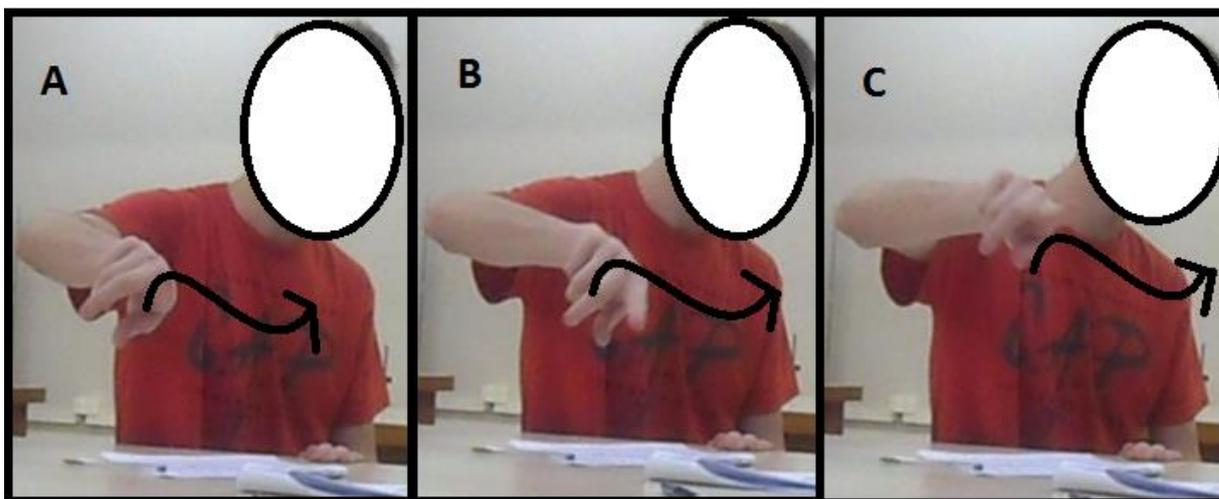
Fonte: A pesquisa

O aluno demonstrou ter conhecimentos sobre alguns 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 esse *driver*, que era antes apenas social, sofreu modificações que incorporaram, em sua estrutura, os mecanismos externos apresentados na Simulação, tornando-se um *driver* hipercultural. Com isso, ocorreu uma evolução durante a modificação desse *driver* que ocorreu por meio dos mecanismos externos de mediação hipercultural, que, neste caso, foram a Simulação Computacional.

Temos ainda, a Figura 40, na qual o aluno demonstra ter uma imagem mental do movimento dinâmico da carga, porém esse movimento é dado por uma trajetória helicoidal. Nessa situação, a carga possui a velocidade inicial no sentido de x, e as componentes do campo são: uma, no próprio sentido de x, e, outra, no sentido de y.

Já a imagem mental dinâmica feita pelo estudante, que representa o movimento helicoidal da simulação, pode ser observada abaixo, onde o estudante utilizou o gesto intitulado #MC.

Figura 40 – Movimento espiral dinâmico de uma carga imersa em um Campo Magnético apresentado pelo aluno



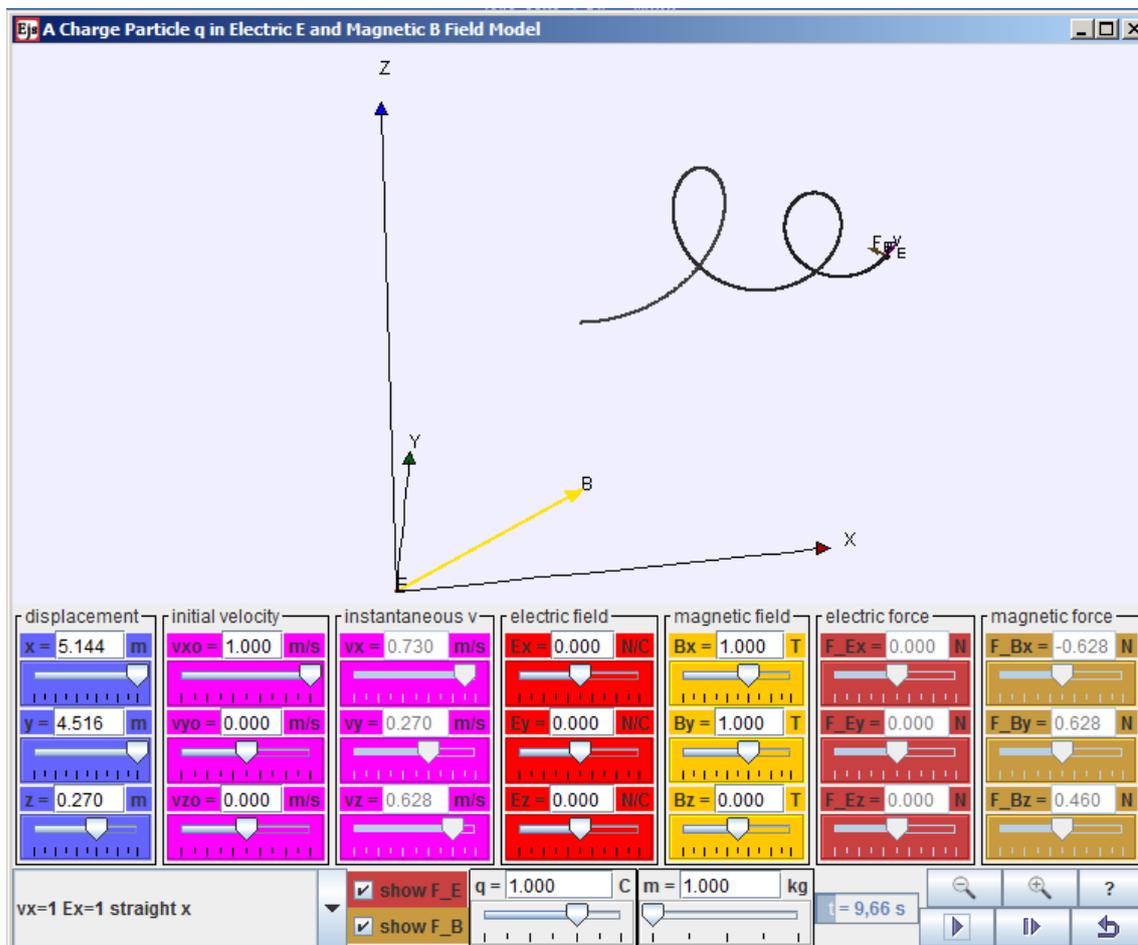
Fonte: A pesquisa

Na fala abaixo, o estudante comenta esta diferença no ângulo do campo e da carga e fala do “movimento espiral”, como pode ser observado.

A2: Não com relação a intensidade da força, mas com relação ao movimento sim, porque quando ele está num ângulo que **não** é 90° , no caso não é perpendicular ele não faz o movimento de circunferência mas um movimento espiral [14:49, #MC], e essa que é a parte legal.

Com isso, o ângulo entre a velocidade da carga e o Campo Magnético será de 45° , resultando em uma trajetória helicoidal, como pode ser visto na Figura 41 que é o resultado da Simulação proposta pelo roteiro.

Figura 41 - Movimento helicoidal de uma carga imersa em um Campo Magnético



Fonte: A pesquisa

A Figura 38, assim como a Figura 40, mostra que o estudante internalizou o conteúdo visualizado na Simulação Computacional, que aqui é considerado como um mecanismo externo para o processamento de informações.

Esse aluno, ao ter contato com a Simulação, desenvolve novos *drivers* que permanecem na estrutura cognitiva do estudante, mesmo depois de “desconectado” do mecanismo de processamento extracerebral. Esses novos *drivers* são identificados a partir da descrição do aluno, demonstrada em sua fala e em seus gestos, indicados nas representações de suas imagens mentais.

Devido ao fato de este aluno ter demonstrado possuir bons conhecimentos anteriormente à utilização da simulação computacional, A2 resolveu boa parte das questões propostas de maneira correta, e a aquisição desses novos *drivers* não o auxiliou na resolução dos problemas 2 e 3 propostos nos testes.

Abaixo está a tabela de respostas do estudante aos problemas dos testes.

Tabela 5 - Respostas do Aluno-A2 aos problemas no pré e no pós-teste

Questão	2	3	4	5	6	7	8
Pré-teste	"e"	"b"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"
Pós-teste	"b"	"c"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"
Gabarito	"c"	"e"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"

Fonte: A pesquisa

Com relação ao conceito da força elétrica que pode atuar sobre uma carga, o aluno A2 foi questionado a respeito do fato de ele alterar a resposta do pós-teste com relação ao pré-teste e a partir desta pergunta o discente em questão comenta:

A2: Sim (estudante lê a questão), agora a minha resposta é a B (estudante lê a alternativa).

P: Como tu chegou a essa resposta?

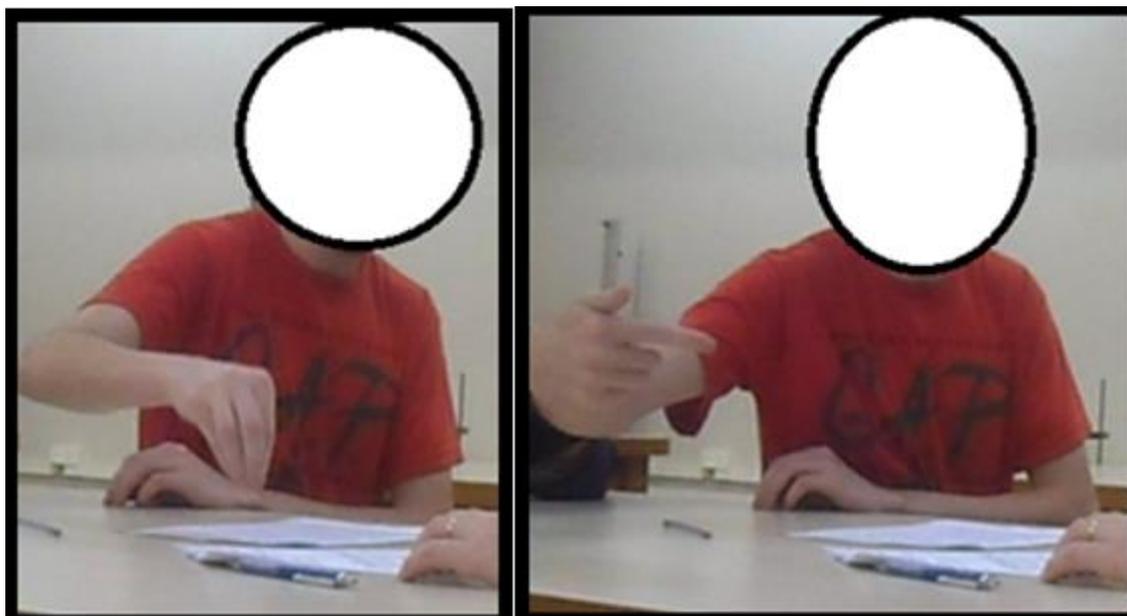
A2: Porque no simulador quando eu coloco a carga sob a ação de um Campo Elétrico ela assume a direção vetorial do Campo Elétrico.

Durante esta explicação feita pelo estudante, ele se utiliza de gestos que complementam os seus comentários. Inicialmente, como pode ser visto na Figura 42, o discente utiliza o gesto estático que foi intitulado como “soltando a carga no ar⁵¹” e, logo após, ele se utiliza de um gesto dinâmico intitulado como “mão direita se movimentando para a direita⁵²” para demonstrar que a carga elétrica assume a direção vetorial do Campo Elétrico que atua sobre ela.

⁵¹ #SCAMD – Soltando a carga no ar mão direita. A mão direita está no ar com todos os dedos juntos direcionados para baixo. Imagem estática.

⁵² #MDMD – Mão direita movimentando-se para a direita. A mão direita faz um movimento para a direita. Imagem dinâmica.

Figura 42 - Gestos de A2 a respeito da força elétrica resultante sobre uma carga



Fonte: A pesquisa

Os gestos feitos pelo estudante referem-se às imagens mentais devido à utilização da Simulação Computacional, ou seja, imagens mentais com origem em uma mediação digital. E acreditamos serem esses gestos, conforme Souza (2014), indícios da aquisição de novos *drivers* pelos estudantes e que eles permitem a comunicação entre a estrutura cognitiva do sujeito e o mecanismo externo de processamento de informações (*Software*) permitindo ao estudante o entendimento das informações nele contidas.

Já com relação a outros conceitos como o de carga elétrica, não foram identificados novos *drivers*, assim como não foi identificado no estudante A1. O estudante A2, diferentemente de A1, apenas se utilizou de aspectos que dão um maior significado ao conceito de carga elétrica, no entanto estes não foram adquiridos durante o uso da Simulação Computacional. A Simulação permite somente que o sinal da carga seja alterado, porém não fala em próton, nêutron ou elétron, como A2 comenta abaixo:

P: E quando se fala em cargas elétricas te vem alguma coisa a mente, alguma forma ou é abstrato?

A2: Eu imagino o elétron [03:21, #SCAME] como sendo uma bolinha amarela, e o próton uma bolinha vermelha e o nêutron como uma bolinha azul.

Assim como em A1, nota-se que o estudante se refere à carga elétrica como sendo representada por um ponto. Isto pode ser percebido na fala acima e também da imagem mental representada na Figura 42, em que o estudante utiliza um gesto que indica que ele está soltando um pequeno objeto no ar. Desse modo, assim como A1, A2 também internalizou que a carga elétrica é definida como um ponto, bem como a Simulação demonstra.

Assim como o estudante anterior, A2, durante a entrevista, não deixou claro se ele percebe alguma distinção com relação ao conceito de Campo Elétrico e Magnético. Apesar de o aluno ter comentado que esses conceitos possuem uma diferenciação, ele conclui que os campos são vetoriais, como pode ser visto na fala abaixo.

P: E tu tens em mente o Campo Elétrico separado do Campo Magnético, como sendo duas coisas distintas?

A2: Sim são coisas distintas.

P: É diferente para ti?

A2: Sim!

P: E tu visualiza isso de alguma maneira...?

A2: Então é só um campo vetorial.

A resposta do estudante A2 na questão 9 do pós-teste é muito mais elaborada do que a resposta à mesma questão no pré-teste. O aluno detalha de maneira completa, demonstrando, desse modo, uma evolução conceitual a respeito das forças que podem atuar em uma carga. Ele escreve que:

“Existem duas forças que podem atuar sobre uma partícula carregada, a força gerada por um Campo Elétrico e a força magnética gerada por um Campo Magnético, mas a partícula só pode sentir a força magnética se estiver em movimento, já a força elétrica ela sente mesmo estando em repouso.”

Nesse sentido, A2 demonstra ter fartos exemplos de ganho representacional e de criação de novas representações e de *drivers* de natureza hipercultural advindos da mediação com a ferramenta de Simulação Computacional Tridimensional. Esse ganho representacional permitiu que a ele resolver alguns problema de Física, mesmo que a conexão com o mecanismo externo de processamento de informações tenha se perdido. Esse processo permitiu ao A2 adquirir uma competência representacional que pode ser chamar de aprendizagem.

7.2.3 Análise dos dados e resultados do aluno A3

Todos os estudantes que realizaram os testes já tinham concluído a disciplina de eletromagnetismo, assim como comentado antes, logo, o estudante A3, assim como os anteriores, demonstrou ter conhecimentos prévios a respeito de alguns aspectos de eletromagnetismo, todavia ele não soube relatar do que se tratava especificamente a Força de Lorentz, pois, no pré-teste, o estudante A3 teve como resposta à primeira questão (O que você entende sobre força de Lorentz?), como sendo “Não lembro!”.

Antes da intervenção do Simulador, o estudante conclui que somente a força Elétrica pode atuar sobre uma carga, pois, com relação à questão 9 do pré-teste (Escreva como se você estivesse explicando para um colega, como se dá as possíveis forças que atuam sobre uma carga elétrica. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achar necessário), A3 responde:

“Podemos comparar as forças que atuam sobre uma carga elétrica, com a força gravitacional atuando sobre objetos. Alguns fatores vão quantificar e orientar essa força, como: intensidade (+ ou -), intensidade do Campo Elétrico e sentido do Campo Elétrico.”

A analogia entre a força elétrica e a força gravitacional feita por A3, em que este diz, “podemos comparar as forças que atuam sobre uma carga elétrica, com a força gravitacional”, também é feita em sala de aula, e em alguns livros didáticos, contudo essa analogia é com a força Elétrica entre duas cargas dada pela Lei de Coulomb. Essa comparação é feita por Silva et al. (2014) como sendo:

“a intensidade da força gravitacional F_g entre dois corpos de massa m_1 e m_2 é a mesma predita pela lei da gravitação de Newton: $F_g = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ Desta maneira, é possível comparar essa intensidade com a intensidade da força Coulombiana: $F_g = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$. (SILVA et al., 2014, p. 15).

Por mais que o estudante em questão demonstre ter alguns conhecimentos prévios a respeito das forças que podem atuar sobre uma carga (neste caso o estudante comenta somente sobre a força que atua na carga tendo como origem um

Campo Elétrico devido a outra carga), ele comenta que não sabe ou não lembra da definição da Força de Lorentz, nem antes nem depois da utilização do Simulador.

Abaixo está o trecho inicial da transcrição da entrevista, em que é solicitado que o estudante explique a respeito da primeira questão do pré-teste (O que você entende sobre força de Lorentz?):

P: Gostaria que tu me explicasse o que é Força de Lorentz, no pré-teste tu não respondeu nada porque tu falou que não lembravas o que era essa força.

A3: Sim, e depois eu também não escrevi nada.

P: Por algum motivo tu não escreveu nada?

A3: É que eu não respondi porque eu continuei sem me lembrar, e sem relacionar o que eu vi na simulação com a Força de Lorentz então eu não consegui conceituar isso.

P: Tu não conseguiu estabelecer um conceito pronto sobre ela?

Por mais que o estudante não conseguiu conceitualizar a Força de Lorentz, ele demonstrou possuir imagens mentais durante a entrevista de como ele resolveu os problemas propostos nos testes, lembrando que a base da metodologia de pesquisa aqui empregada consiste em aplicar alguns indicadores, como os movimentos de mãos, a fala ou a escrita, para sugerir que os estudantes estavam se utilizando de imagens dinâmicas de simulações mentais durante a entrevista.

O estudante A3 demonstrou ter simulações mentais oriundas da Simulação Computacional como a imagem dinâmica classificada como IMDA⁵³. Essa imagem mental mostra o movimento da carga no sentido do Campo Elétrico. Abaixo está a fala do estudante, em que ele utiliza essa representação:

P: Com relação a segunda questão, como tu resolveu ela? Tanto no pré como no pós-teste tu marcou a mesma alternativa.

A3: Sim. No primeiro momento (pré-teste) foi a primeira vez que eu fiz e eu tive um pouco de lembrança mas não tinha muita certeza, aí depois (pós-teste) eu fui verificando a simulação e eu vi que a partícula se movimentava com uma aceleração constante porque ela ia aumentando a velocidade.

P: Isso tu enxergavas nos parâmetros da simulação?

A3: Sim, quando eu via ali a velocidade mudar e a carga se movimentar no mesmo sentido do Campo Elétrico [01:12, #IMDA].

P: Mas antes de utilizar a simulação tu marcasse a mesma resposta.

A3: Um pouco foi no chute assim.

P: Tá, entendo!

⁵³ #IMDA – Indicador da mão direita no ar. A mão direita está fechada e tem somente o indicador apontando para a frente da pessoa. Imagem estática.

A3: Eu me lembrava que... a analogia que eu fiz era a força do campo... eu fiz uma analogia do Campo Elétrico [01:34, #MAA] como campo gravitacional então a aceleração seria constante.

P: Sim entendi!

A3: Daí eu vi, principalmente consegui identificar melhor a aceleração [01:42, #IMDAD] constante também pela distância [01:48, #SCAMD] lá na simulação onde mostra porque a velocidade as vezes tu não consegue observando aí né? Mas eu vi que a distância ia de maneira uniforme percorrendo [01:57, #IMDAD], daí eu consegui identificar melhor.

Na Figura 43 abaixo pode ser observado o estudante gesticular, indicando que a carga elétrica assume o sentido do Campo Elétrico que atua sobre ela, ou seja, a primeira parte da Força de Lorentz ($q\vec{E}$). A sua explicação se refere à segunda questão do teste que pergunta “o que acontecerá com o movimento da carga logo após ela ser “solta” de um repouso inicial num Campo Elétrico uniforme”.

Figura 43 - Movimento do indicador de A3 demonstrando a Força Elétrica resultante sobre a carga



Fonte: A pesquisa

A relação entre a velocidade inicial da carga e a força resultante, tanto quanto ela está imersa em um Campo Elétrico ou em um Campo Magnético, foi feita pelo estudante ao utilizar a Simulação, pois ele comenta, ao alterar uma resposta, que:

P: Porque tu alterou a resposta, pensasse diferente?

A3: Eu alterei porque antes eu não lembrava disso né, eu achei que ele teria a mesma interação com a carga assim como um Campo Elétrico. E depois com o uso do simulador eu vi que ela permaneceria em repouso.

P: Tu viu lá que quando a velocidade inicial da carga era zero, num Campo Magnético...

A3: Ela ficava em zero.

P: E se fosse um Campo Elétrico? Quando a velocidade inicial era zero...
 A3: Ela acelerava. Isso deu para ver.

A construção da mesma relação pode ser vista em sua fala, quando questionado sobre como resolveu a sexta questão dos testes.

P: E como tu resolveu essa questão 6?
 A3: Ah essa deu um pouco mais de trabalho. Acho que primeiramente eu chutei porque eu não me lembrava.
 P: Tá!
 A3: Aí depois, o que eu fiz, usando o simulador eu coloquei nas condições que deu o movimento circular da carga, onde o Campo Magnético estava no eixo y. E a carga estava em um movimento para x [07:07, #MEP] só que a carga era sempre positiva daí eu alterei a carga, porque eu vi que era possível colocar ela negativa, e daí eu vi o sentido.
 P: E daí estabelecesse essa relação?
 A3: Sim, eu vi que tem uma relação entre o campo a velocidade e a carga.
 P: Tu utilizasse alguma regra para resolver essa questão?
 A3: Não!
 P: Então só alterasse os parâmetros no simulador...
 A3: E fui observando!

Os estudantes anteriores, A1 e A2, utilizaram-se de gestos que indicam *drivers* sociais que foram adquiridos em sala de aula a partir da relação aluno professor com a utilização de recursos mnemônicos. Porém A3, em nenhum momento, indicou a utilização de gestos referentes a esses recursos.

E ao ser questionado sobre como resolveu a Questão 4 do teste após a utilização do Simulador, o estudante comentou que foi “botando a carga” e para isso utilizou o gesto que indica que ele está soltando a carga no ar (SCAMD), assim como o estudante A2. Esse é um gesto claro de que esse assunto foi visto durante a Simulação e representado depois pelos estudantes, como pode ser observado no diálogo abaixo.

A3: E depois olhando o que eu fiz na simulação para responder essa aqui, eu fui botando a carga [05:07, #SCAMD] em pontos diferentes e vendo o comportamento dela. Na origem, lá no eixo z lá, aliás no X0 e depois em outras posições, x1, x2 e vi que a velocidade e a aceleração é a mesma então a intensidade do campo não mudava.
 P: Tá, então tu utilizou o simulador...
 A3: Usei o simulador para fazer essa questão.

Com relação à questão 9 no pós-teste (Escreva como se você estivesse explicando para um colega, como se dá as possíveis forças que atuam sobre uma carga elétrica. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achar necessário), o

aluno respondeu utilizando alguns desenhos e deixou clara a questão da tridimensionalidade para explicar essas forças.

Abaixo serão mostrados os trechos da entrevista juntamente com os desenhos utilizados pelo estudante para explicar as forças que atuam sobre uma carga elétrica.

P: E com relação a essa última questão, que trata de explicar o que é a Força de Lorentz, tu tratou de explicar ela no pré-teste. A tua explicação envolveu fatores como força na carga e tal, e no pós-teste tu alterou a tua resposta complementando-a com a questão da tridimensionalidade.

A3: Sim!

P: Então me explica como tu pensou para responder essa questão durante o pós-teste.

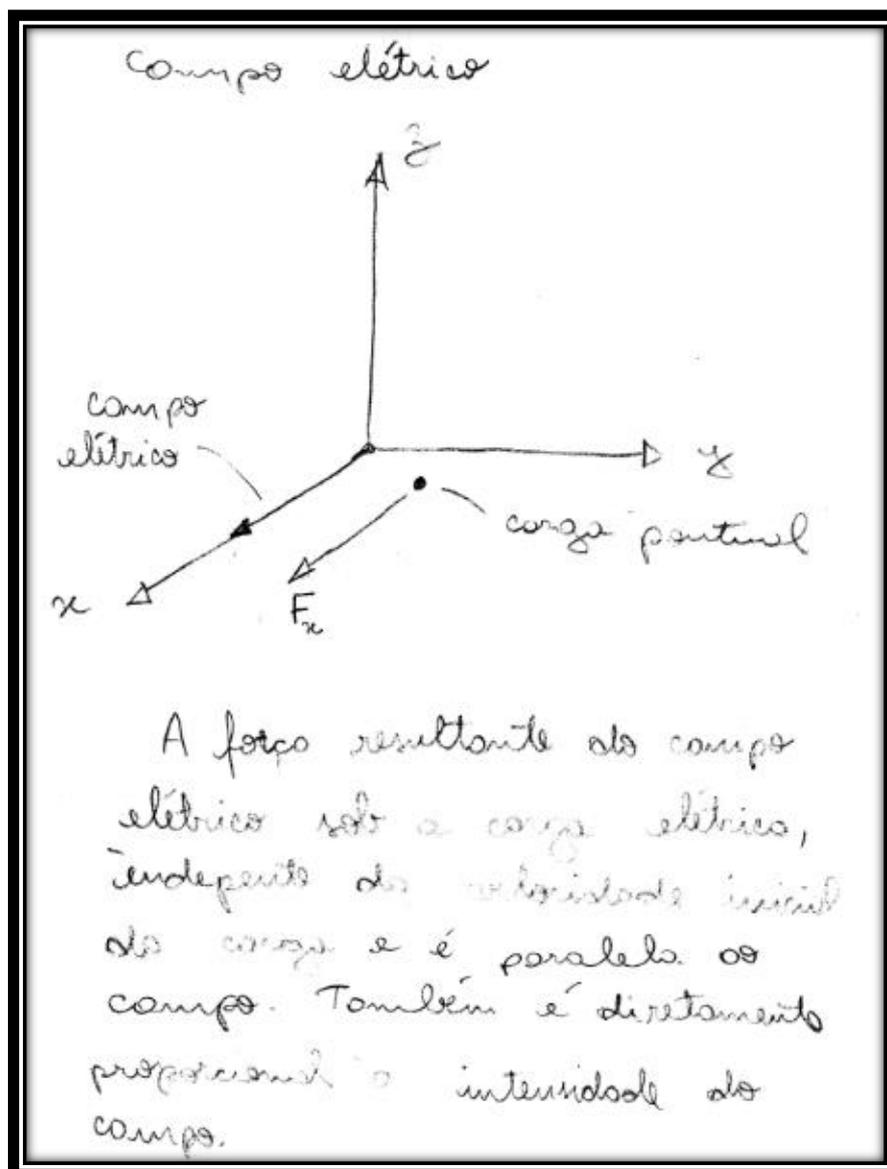
A3: Bom eu, fazendo uso da simulação, eu desenhei um sistema de coordenadas com três eixos né!? Um sistema tridimensional x, y e z e coloquei um vetor aqui no Campo Elétrico [10:33, #IMD] com uma direção e um sentido, através do eixo x, e uma carga daí eu mostrei a carga pontual e o vetor da força.

P: Sim!

A3: Daí vai a resultante vai fazer a carga acelerar para cá [10:44, #IMD], e então eu escrevi “a força resultante do Campo Elétrico sobre a carga independe da velocidade inicial da carga”.

Neste primeiro momento da fala, o estudante comenta a primeira parte da sua explicação que foi apresentada na forma de um desenho, como pode ser visto na Figura 44 abaixo. Esta representação na forma de um desenho tridimensional feito por A3 mostra a primeira parte da equação referente à Força de Lorentz, na qual a carga elétrica assume o sentido do Campo Elétrico.

Figura 44 - Primeira representação, e a explicação, utilizada pelo estudante A3 para explicar as forças que podem atuar sobre uma carga



Fonte: A pesquisa.

Na continuação do diálogo acima, o estudante comenta que é muito válido utilizar a Simulação Computacional para explicar as forças que podem atuar em uma carga elétrica. E com relação à força magnética que pode atuar sobre a carga, ele comenta que é necessário que a carga tenha uma velocidade inicial para que exista essa força, como pode ser visto no diálogo abaixo.

P: Então basicamente tu utilizou a simulação para explicar o que é a Força de Lorentz.

A3: Isso aí!

P: Então tu iria utilizar o simulador para explicar o que é a Força de Lorentz?

A3: Sim eu acho que seria válido utilizar a simulação sim.

P: E esse outro desenho, que foi para...

A3: É para explicar o Campo Magnético.

P: Tá!

A3: Que aí eu mostrei que o Campo Magnético estando no mesmo sentido [11:23, #IMD], que eu tinha aqui do Campo Elétrico, e a carga parada não iria ter força nenhuma ela teria que estar em movimento. E esse movimento tem que ser ortogonal.

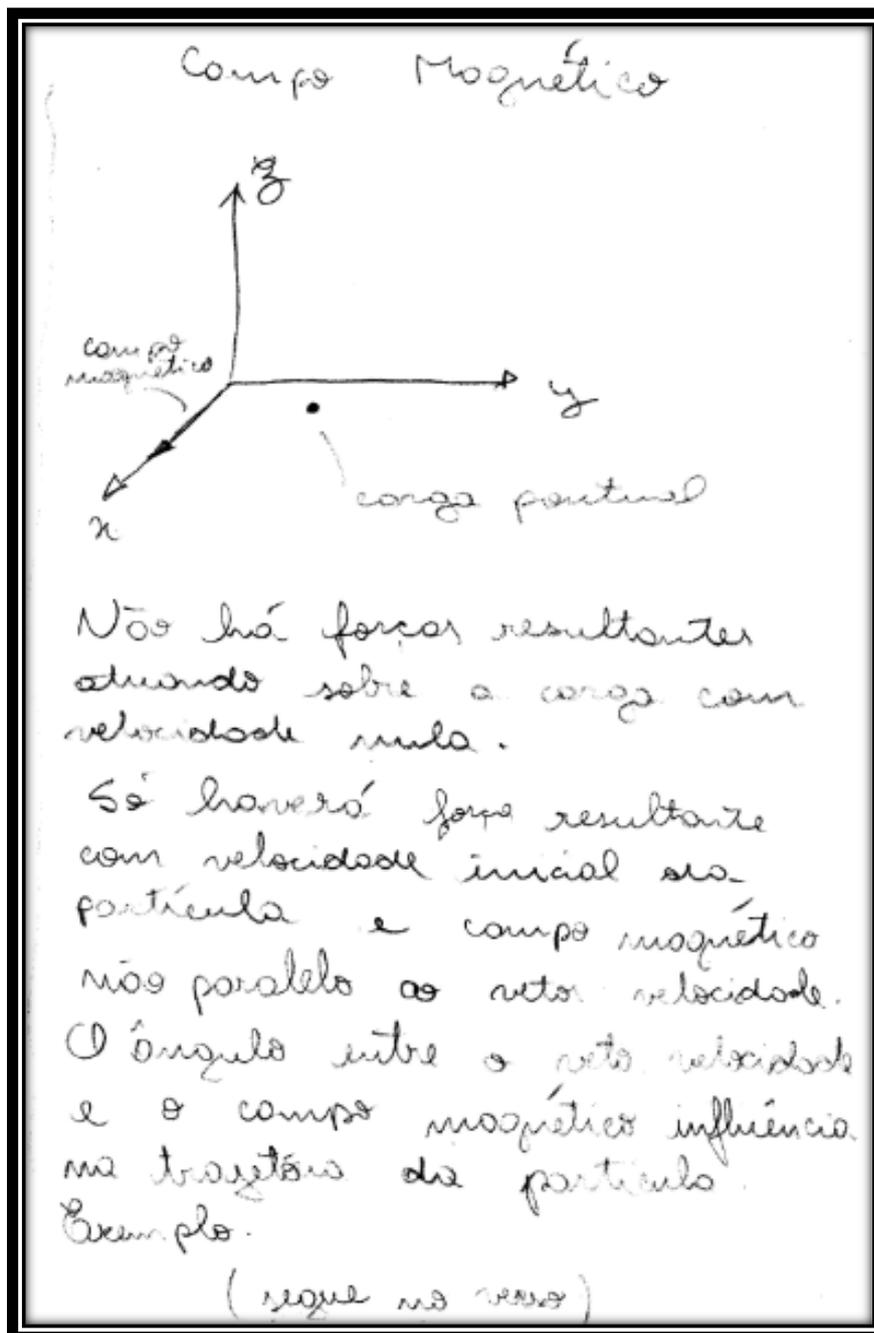
Além de A3 falar da necessidade da velocidade inicial da carga para que haja uma força magnética atuando sobre ela, ele comenta (como pode ser visto na Figura 45 abaixo) a respeito da influência do ângulo entre as componentes vetoriais da velocidade e do Campo Magnético. Se essas componentes forem paralelas, o seu produto vetorial será zero, e não haverá força magnética atuando sobre a carga.

A diferenciação entre a Força Elétrica que pode atuar sobre uma carga e a Força Magnética que pode atuar sobre essa mesma carga parece que não fazia parte dos conhecimentos prévios de A3, pois, como já comentado, muitas vezes, são apresentados somente casos isolados das forças atuantes sobre uma carga.

Com relação a A3, podemos ver que os seus conhecimentos de Força de Lorentz não abordavam as duas possíveis situações, assim como A1 e A2, e que a utilização do Simulador Computacional Tridimensional o auxiliou para que pudesse observar a influência do Campo Magnético e/ou Elétrico sobre uma carga e que ele utilizou essa representação tridimensional como alternativa para explicar esse assunto a outras pessoas.

A Figura 45 abaixo mostra a segunda representação utilizada pelo estudante para explicar a questão 9 do pós-teste.

Figura 45 - Segunda representação, e a explicação, utilizada pelo estudante A3 para explicar as forças que podem atuar sobre uma carga



Fonte: A pesquisa

Por último, A3 comenta a respeito da situação em que o ângulo entre a velocidade e o Campo Magnético é 90° , resultando em um movimento circular da carga. No restante do diálogo referente à entrevista de como resolveu a questão 9 proposta, A3 comenta que observou essa situação na Simulação computacional e,

por meio de um gesto que representa a imagem mental dessa situação, ele representa o resultado do movimento da carga nessa situação.

P: Tá, entendi, e o último desenho que fizesse atrás da folha foi para mostrar que a carga faz um movimento.

A3: Isso, a velocidade inicial [11:40, #IMD] e a força apontando para o centro do círculo né!? Daí ela fica sempre fazendo um movimento circular [11:47, #IMDC], e eu coloquei aqui a trajetória.

P: Tá! E tu iria explicar com esse desenho?

A3: Sim, eu iria utilizar esse desenho para explicar.

P: Tá ok! Isso porque tu viu isso na simulação.

A3: Sim e porque eu tenho essa particularidade onde eu consigo entender melhor vendo.

P: Sim!

A3: Porque para abstrair assim... eu não sou tão ruim na abstração né, mas eu tenho mais facilidade enxergando.

P: E o simulador te propiciou isso

A3: Sim, daí eu consegui entender um pouco melhor.

O que o estudante indicou é explicado por princípios da TMC, quando esta teoria conclui que a capacidade cerebral é limitada, e o cérebro utiliza naturalmente ferramentas externas que o tornam mais capaz para realizar tarefas. Daí o estudante indica que: "eu consigo entender melhor vendo". Isso demonstra que o A3 reconhece que a Simulação Computacional utilizada é uma ferramenta importante para a solução de problemas de Eletromagnetismo, pois, muitas vezes, essa é uma das únicas formas de visualizar alguns fenômenos eletromagnéticos como a representação tridimensional do campo.

O movimento dinâmico representado pelo aluno é o #IMDC que foi classificado como "Indicador da mão forma um círculo", no qual a mão direita está fechada e tem somente o indicador apontando para o papel, e o aluno faz um movimento circular no papel. Esse movimento pode ser visto na Figura 46 abaixo.

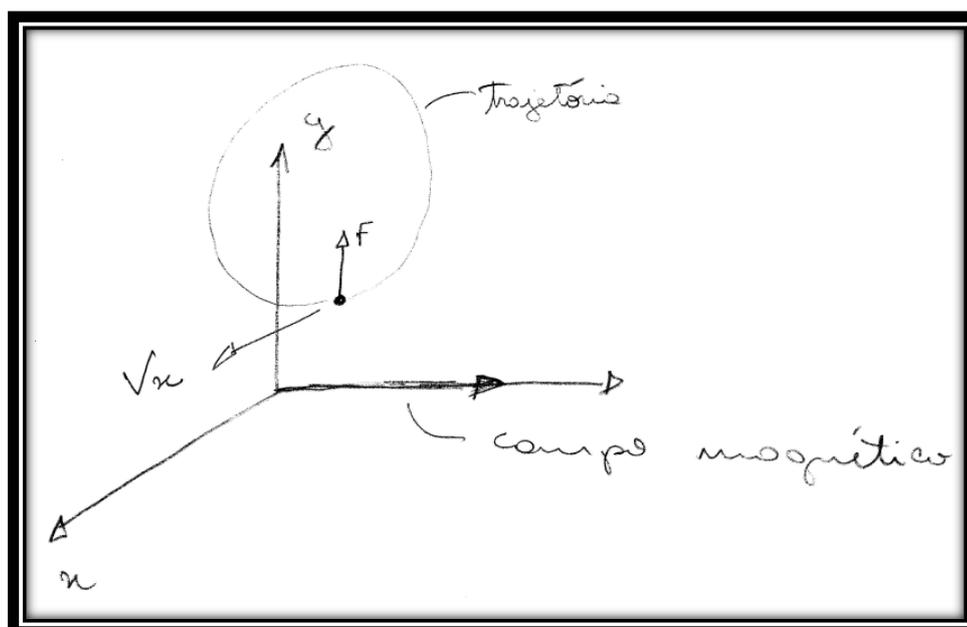
Figura 46 - Movimento circular dinâmico de uma carga imersa em um Campo Magnético demonstrado pelo aluno A3



Fonte: A pesquisa

E o último desenho feito pelo estudante, a representação dessa situação em que A3 demonstra o movimento circular feito pela carga, quando ela está imersa em um Campo Magnético, pode ser visto abaixo.

Figura 47 - Terceira representação e a explicação utilizada pelo estudante A3 para explicar as forças que podem atuar sobre uma carga



Fonte: A pesquisa

Este movimento dinâmico realizado pelo aluno e evidenciado pelo desenho que ele fez é o mesmo movimento tridimensional 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 no resultado da Simulação na Figura 39. Ficando claro que o estudante A3 se utiliza de gestos que indicam imagens mentais dinâmicas semelhantes aos resultados das simulações que A3 realizou tendo como guia o roteiro de utilização do *Software*.

Com isso, A3, durante a entrevista, demonstrou reproduzir situações com gestos que diferenciam a Força elétrica e a Força Magnética que podem atuar sobre a carga. Logo, A3 possui imagens mentais que são oriundas da Simulação, ou seja, têm uma origem hipercultural gerando assim um *driver* hipercultural.

Sendo assim, o *Software* de Simulação Computacional Tridimensional utilizado contribuiu para a compreensão dos principais conceitos relacionados à Força de Lorentz, pois o aluno se utiliza de imagens mentais que são provenientes da Simulação. O estudante demonstra uma explicação muito mais completa do fenômeno Físico visualizado e mostra que houve um ganho de novas representações e *drivers* que foram capazes de produzir uma explicação mais satisfatória para o fenômeno.

Além do mais, a visualização de certos aspectos Tridimensionais de Eletromagnetismo, que foi possível com a utilização da Simulação Computacional, permitiu ao estudante se apoderar de certos aspectos referentes à Força de Lorentz que permitiram A3 resolver problemas, que anteriormente à utilização do *Software* não foram resolvidos, como pode ser visto na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Respostas do Aluno-A3 aos problemas no pré e no pós-teste

Questão	2	3	4	5	6	7	8
Pré-teste	"c"		"b"	"b"	"b"		
Pós-teste	"c"	"a"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"
Gabarito	"c"	"e"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"

Fonte: A pesquisa

Entende-se que o mecanismo externo de processamento de informações interagiu com o estudante, que criou *drivers* específicos (hiperculturais) que permanecem mesmo após a mediação com o mecanismo externo não existir mais e que esses novos *drivers* deram o “poder” necessário para que o estudante resolvesse

quase todos os problemas propostos de maneira correta. E que, mesmo que ele não soube conceituar a Força de Lorentz, diferenciou muito bem as duas possibilidades dessa força, conforme a Equação 1.

Com relação à representação do campo, A3 não deixou evidente que possui uma diferenciação entre o Campo Elétrico e o Campo Magnético. E a representação destes, segundo o estudante, é feita por meio de uma analogia com o campo gravitacional que é representado por “linhas” que contêm “setinhas” como pode ser observado no diálogo abaixo.

P: Entendi, e quando se fala em campo para ti.

A3: Campo Elétrico?

P: Ou até Campo Magnético, o que vem a tua mente? Tu falou que tu associou com o campo gravitacional.

A3: Sim com o campo gravitacional.

P: Mas quando se fala em campo, vamos supor Campo Elétrico, vem alguma lembrança ou alguma imagem a tua mente?

A3: Eu tenho algumas imagens da simulação e eu faço muita analogia como o campo gravitacional.

P: Mas qual seria a representação disso?

A3: Se eu fosse fazer um desenho?

P: sim!

A3: Linhas, e elas tem uma orientação um sentido tem até a setinha.

P: Sim!

A3: Tem uma intensidade conforme a distância também.

P: Alguma cor?

A3: Não!

E um perfil mais completo da representação de carga, que envolve os aspectos externos a ela, também não foi evidenciado pelo estudante, mesmo após a utilização da Simulação Computacional. Abaixo, no diálogo, o estudante comenta que a carga seria um objeto que armazena energia.

P: E quando eu falo em carga elétrica, o que te vem a mente?

A3: O que vem a minha cabeça... carga elétrica... eu penso num acumulador ou algo assim.

P: Como assim?

A3: Como se fosse um capacitor ou alguma coisa assim.

P: Ah tá, então tu pensa num objeto?

A3: Sim, num objeto assim [03:08, #MAA] que fica armazenando energia.

E o gesto utilizado por A3 para representar essa carga elétrica lembra o #MAA que significa “mãos abertas no ar” e pode ser visto na Figura 48 abaixo.

Figura 48 - Gestos de A3 a respeito da representação da carga elétrica



Fonte: A pesquisa

A representação da carga elétrica como sendo uma bola é resultado da Simulação Computacional (Figura 36) e foi replicada pelos estudantes A1 e A2 e também por A3.

7.2.4 Análise dos dados e resultados do aluno A4

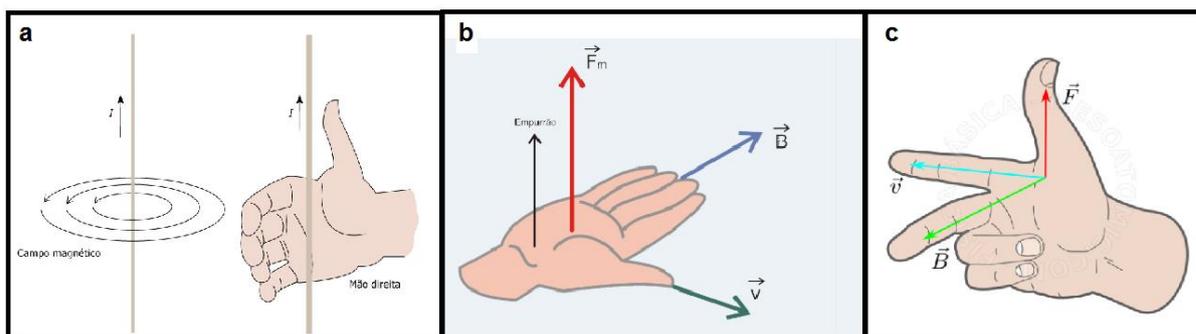
O estudante A4 foi o mais introspectivo, o que exigiu mais do entrevistador para que ele conseguisse extrair gestos e uma explicação de como o aluno resolveu os problemas propostos no teste após a utilização do Simulador. A4 demonstrou ter conhecimentos prévios a respeito do tema de eletromagnetismo pois a sua resposta à primeira questão pré-teste (O que você entende sobre força de Lorentz?) foi: *“É uma força que age sobre uma carga elétrica fazendo com que ela percorra um caminho no Campo Elétrico onde ela se encontra.”*

Os conhecimentos que o estudante possui com relação a esse tema, por exemplo, envolvem o sinal da carga que está imersa em um campo. A possibilidade de alterar o sinal da carga existe no Simulador Computacional utilizado, porém o

estudante comentou sobre essa possibilidade mesmo antes de utilizar o *Software*, como pode ser visto na resposta de A4 à questão 9 do pré-teste (Escreva como se você estivesse explicando para um colega, como se dá as possíveis forças que atuam sobre uma carga elétrica. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achar necessário): “As forças que atuam sobre uma carga podem fazer com que ela se movimente entrando ou saindo do Campo Elétrico vai depender do sinal que tem essa carga. E para descobrir o sentido da força usamos a regra da mão direita.”

Outra questão é, assim como A1 e A2, que A4 se utiliza logo na resposta do pré-teste de um *driver* social utilizado por professores em sala de aula para auxiliar os estudantes a entender melhor os fenômenos eletromagnéticos que é a “regra da mão direita”. Por mais que a citação dessa regra pelo aluno não deixa claro se ele se refere à regra da mão direita para um fio condutor (que determina o sentido do Campo Magnético a partir do sentido da corrente elétrica, que pode ser visto na Figura 49a), ou a regra da mão direita como sendo a “regra do tapa” (que determina a força magnética resultante em uma carga imersa em um Campo Magnético com uma velocidade inicial diferente de zero, que pode ser visto na Figura 49b) ou ainda a regra da mão direita que é a mesma “regra do tapa”, no entanto muda a ordem das componentes na mão, e pode ser vista na Figura 49c.

Figura 49 - Diferentes tipos de "regra da mão direita".



Fonte: Internet⁵⁴

54

a.

Disponível

em:

http://www.pontociencia.org.br/galeria/?content%2FFisica%2FEletromagnetismo%2FRegra-da-m_o-direita.jpg . Acesso em 25 de julho de 2018.

b. Disponível em: <http://www.mesoatomic.com/pt-br/fisica/eletromagnetismo/eletromagnetismo/forca-magnetica> . Acesso em 25 de julho de 2018.

Durante a entrevista, o aluno deixa claro que utilizou a regra da mão direita, que pode ser vista na Figura 49c, para tentar explicar a Força de Lorentz durante o pré-teste, como pode ser observado na transcrição da entrevista mostrada abaixo:

P: Na primeira questão do pré-teste e do pós-teste tu mudou a tua resposta mas pouco tá. Tu citou a regra da mão direita para explicar a Força de Lorentz, porque?

A4: Porque a regra da mão direita, eu sei que existe a regra da mão esquerda, mas pra mim eu achei que era a regra da mão direita não sei se ...

P: E de onde tu sabes que existe essa regra?

A4: Isso eu aprendi no ultimo semestre.

P: Ah tá, na disciplina de Eletromagnetismo.

A4: Isso!

P: Então tu lembrou lá da sala de aula?

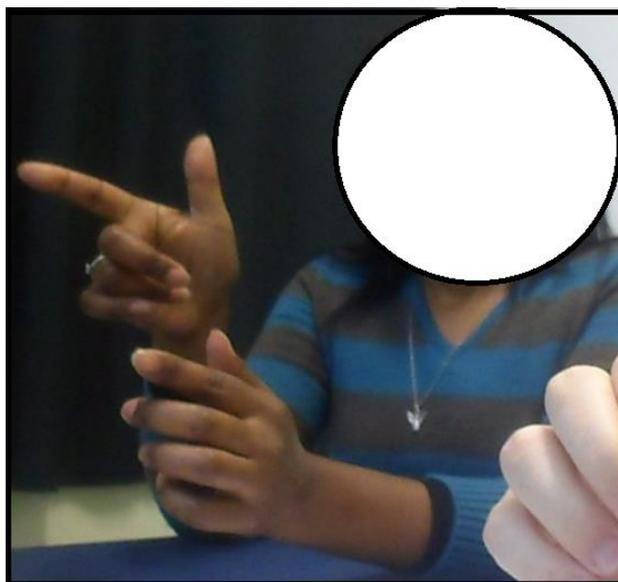
A4: Sim eu lembrei da sala de aula porque tinha, tem a função dos dedos, o dedo que indica o campo o que indica o sentido da força e o que indica a velocidade. Então isso eu lembrava e até fiquei na dúvida qual era qual. Eu lembro, pra mim, que o dedão é a velocidade.

P: E para onde tu aponta o dedão?

A4: Eu me lembro que tinha situações onde se tinha o sentido do campo e outras situações que se tinha o sentido da velocidade então sempre tinha um dado e com base naquele dado tu tentava descobrir os outros [02:00, #3DMD].

A imagem mental identificada na fala acima, que o estudante utilizou no momento em que explica a representação da regra da mão direita, e foi utilizado também por A1 e A2, foi definido como sendo um gesto universal denominado de #3DMD (três dedos da mão direita, em que os três dedos da mão direita, polegar o indicador e o dedo médio, estão posicionados no ar formando um ângulo de 90 graus entre si. Imagem estática), e pode ser visto na representação no estudante A4 na Figura 50.

Figura 50 - Gestos do aluno A4 indicando a regra da mão direita



Fonte: A pesquisa

Fica evidente que esse estudante também possui *drivers* sociais provenientes da interação aluno professor em sala de aula, pois esse recurso mnemônico é comumente utilizado para representar a Força Magnética resultante sobre uma carga imersa em um Campo Magnético e possui uma velocidade diferente de zero.

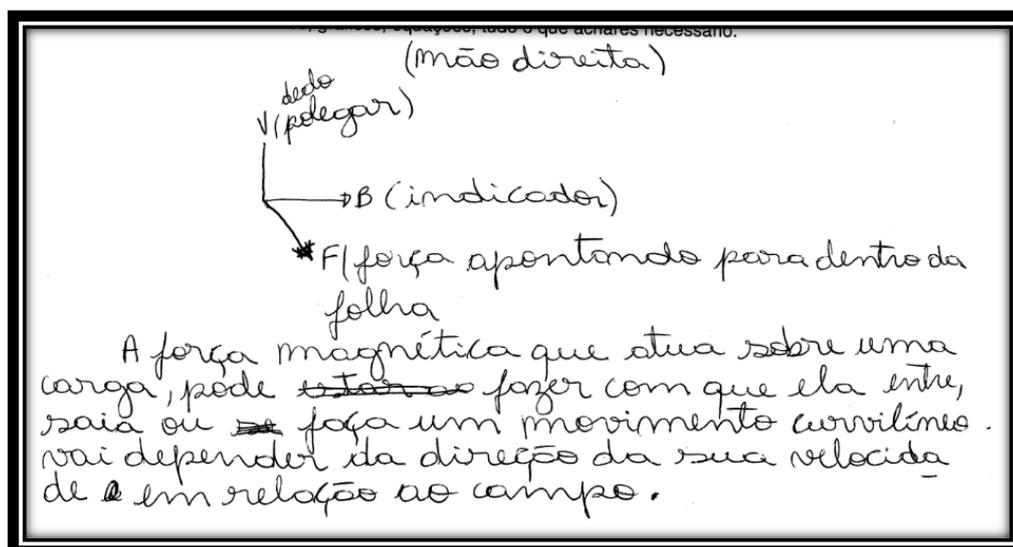
O estudante inicialmente respondeu de maneira incompleta as questões dissertativas do pré-teste, deixando claro que tinha uma ideia limitada a respeito da Força de Lorentz, porém as suas explicações, nas mesmas questões no momento do pós-teste, indicam que A4 se utilizou de uma explicação mais abrangente a respeito do assunto. E nessa explicação ainda está contido fortemente o *driver* social associado à regra da mão direita, mesmo após a utilização da Simulação Computacional.

A resposta de A4 à primeira questão no pós-teste (O que você entende sobre a Força de Lorentz) foi a seguinte: *“É uma força que age sobre uma carga através de um Campo Elétrico ou Magnético, e pode ser determinado o seu sentido através da regra da mão direita.”*

E na resposta à questão 9 no pós-teste (Escreva como se você estivesse explicando para um colega, como se dá as possíveis forças que atuam sobre uma carga elétrica. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achar necessário), o estudante A4 explora outros aspectos, que não foram explorados antes, todavia, ele também se utiliza da regra da mão direita, assim como antes, para explicar como se

dariam as possíveis forças que podem atuar em uma Carga, como pode ser visto na Figura 51 abaixo.

Figura 51 - Resposta do estudante A4 à questão 9 do pós-teste



Fonte: A pesquisa

Pela resposta do estudante, percebe-se que ele visualizou na Simulação o movimento circular resultante da Simulação quando o roteiro propõe que o ângulo entre a velocidade e o sentido do Campo Magnético seja 90° . Isso está claro quando A4 escreve “faça um movimento curvilíneo” na resposta acima.

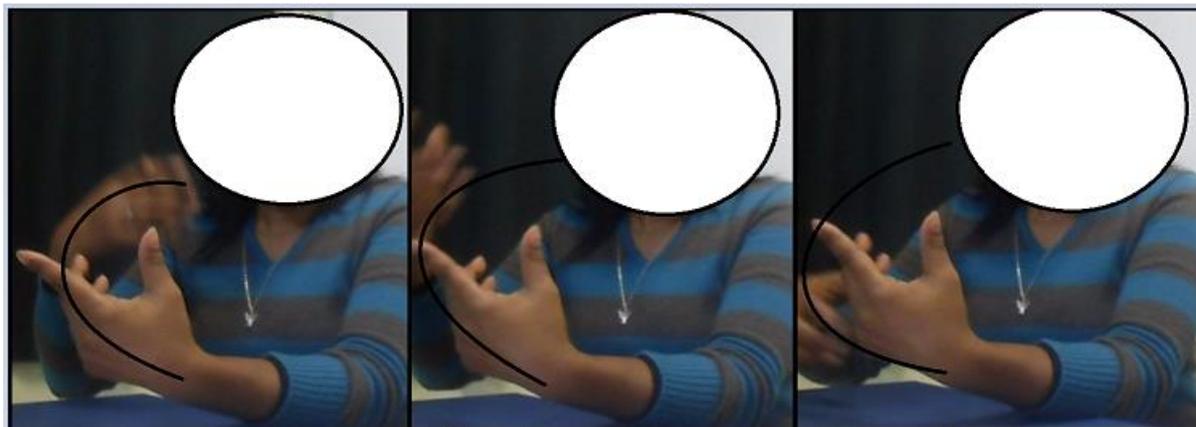
O desenho utilizado pelo estudante (Figura 51) remete ao *driver* social, mesmo que em nenhum momento a Simulação Computacional mostre essa representação. Uma imagem mental relacionada a esse movimento curvilíneo observado pelo aluno foi captada em um momento, e pode ser observado na fala abaixo.

P: Como tu pensou para resolver essa questão?

A4: Eu lembrei da simulação uma diferença, não a diferença só da força assim, mas a diferença que para um Campo Magnético ela é diferente porque quando tem um campo agindo e dependendo da situação do sentido da velocidade vai dar origem a um caminho diferente [09:05, #MCME].

O gesto que se refere à imagem mental utilizada por A4 foi definido como #MCME que significa: Movimento de círculo com a mão esquerda, em que a mão esquerda está semiaberta e faz um movimento de círculo no ar (imagem dinâmica). Este gesto pode ser visto na Figura abaixo.

Figura 52 – Gesto do aluno 4 indicando o movimento da carga.



Fonte: A pesquisa

Na explicação o estudante A4 demonstra um entendimento incompleto a respeito do fenômeno eletromagnético estudado. Apesar dessa explicação, na questão 9 do pós teste, o estudante teve a aquisição de uma nova representação e um *driver* que lhe permitiu uma explicação diferente para o fenômeno, mas a sua explicação não está correta ou mais completa do que a explicação anterior à utilização do Simulador.

O estudante possui fortes evidências de utilizar somente esses *drivers* sociais para resolver os problemas propostos, tanto que na seguinte fala A4 comenta a respeito da regra da mão esquerda, porém lembra mais da direita.

A4: E eu também lembro de que daria para usar essa mesma regra para a mão esquerda porém com as letras diferentes, mas eu não consigo me lembrar, assim tão claro como eu me lembrei da mão direita.

Fica evidente que para esse estudante prevaleceu a utilização do *driver* social para a realização dos problemas propostos no roteiro de utilização do Simulador, e o *driver* hipercultural adquirido pelo estudante não foi suficiente para esclarecer os fenômenos que envolvem a Força de Lorentz, e isso pode ser visto na Tabela 7 abaixo

(que mostra as respostas do estudante aos testes antes e depois da utilização do simulador).

Tabela 7 - Respostas do Aluno-A4 aos problemas no pré e no pós-teste

Questão	2	3	4	5	6	7	8
Pré-teste	"a"	"d"	"d"	"a"	"a"	"e"	"a"
Pós-teste	"a"	"c"	"d"	"b"	"a"	"e"	"a"
Gabarito	"c"	"e"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"

Fonte: A pesquisa

Teve outro gesto que foi identificado na entrevista desse aluno, quando ele foi questionado de como resolveu a segunda questão do teste, foi o que representa a carga elétrica sendo solta no ar (#SCAMD) como pode ser observado no diálogo abaixo.

P: Agora eu quero que tu me explique como tu resolveu essa questão? Tem uma carga positiva em repouso em um Campo Elétrico uniforme, e ela é solta nesse campo o que acontecerá com essa carga? O que tu pensou quando resolveu essa questão? Tu imaginou a carga sendo solta?

A4: Sim eu imaginei isso.

P: E como é essa carga? Tem alguma cor ou formato?

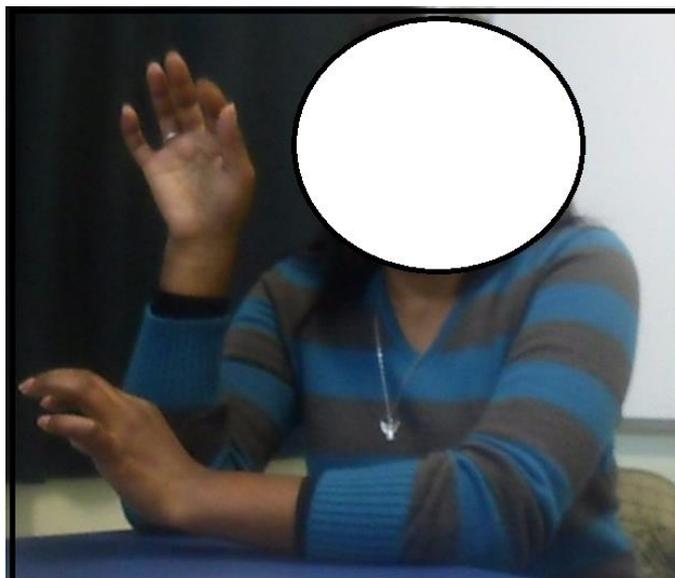
A4: Não, mas o que eu lembrei foi da letra "q" [04:09, #SCAMD].

P: Tu lembrou desta letra?

A4: Sim, porque sempre quando se fala em carga me vem o "q".

E o gesto de A4 é mostrado na Figura 53 abaixo.

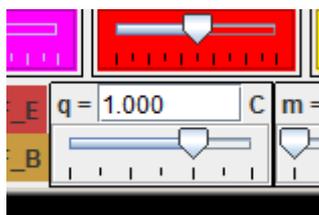
Figura 53 - Gesto de A4 "soltando a carga no ar"



Fonte: A pesquisa

O fato de o estudante A4 utilizar esse gesto durante a fala, de como ele entende o conceito de carga elétrica, faz-nos entender que a carga elétrica pode ser como um ponto que é largado no ar e que é representado pela letra “q”. Esta letra tradicionalmente é utilizada para representar a carga em livros didáticos e também na Simulação, como pode ser visto na Figura 54 abaixo.

Figura 54 - Letra "q" para nomear a carga elétrica no *Software*.



Fonte: A pesquisa

Devido ao fato de a representação da carga nesse Simulador ser um ponto, e sendo uma das conclusões da TMC de que o ser humano utiliza ferramentas externas que o capacitam a realizar tarefas aumentando a sua capacidade de resolver

problemas, o Simulador Computacional não auxiliou o estudante a entender ou internalizar um conceito mais completo e/ou Maxwelliano de Carga elétrica.

E nem os conceitos de Campo Elétrico e Campo Magnético foram diferenciados por A4 ou até mesmo a representação destes, pois, em nenhum momento da entrevista, ele possui uma definição ou faz alguma representação destes.

7.2.5 Análise dos dados e resultados do aluno A5

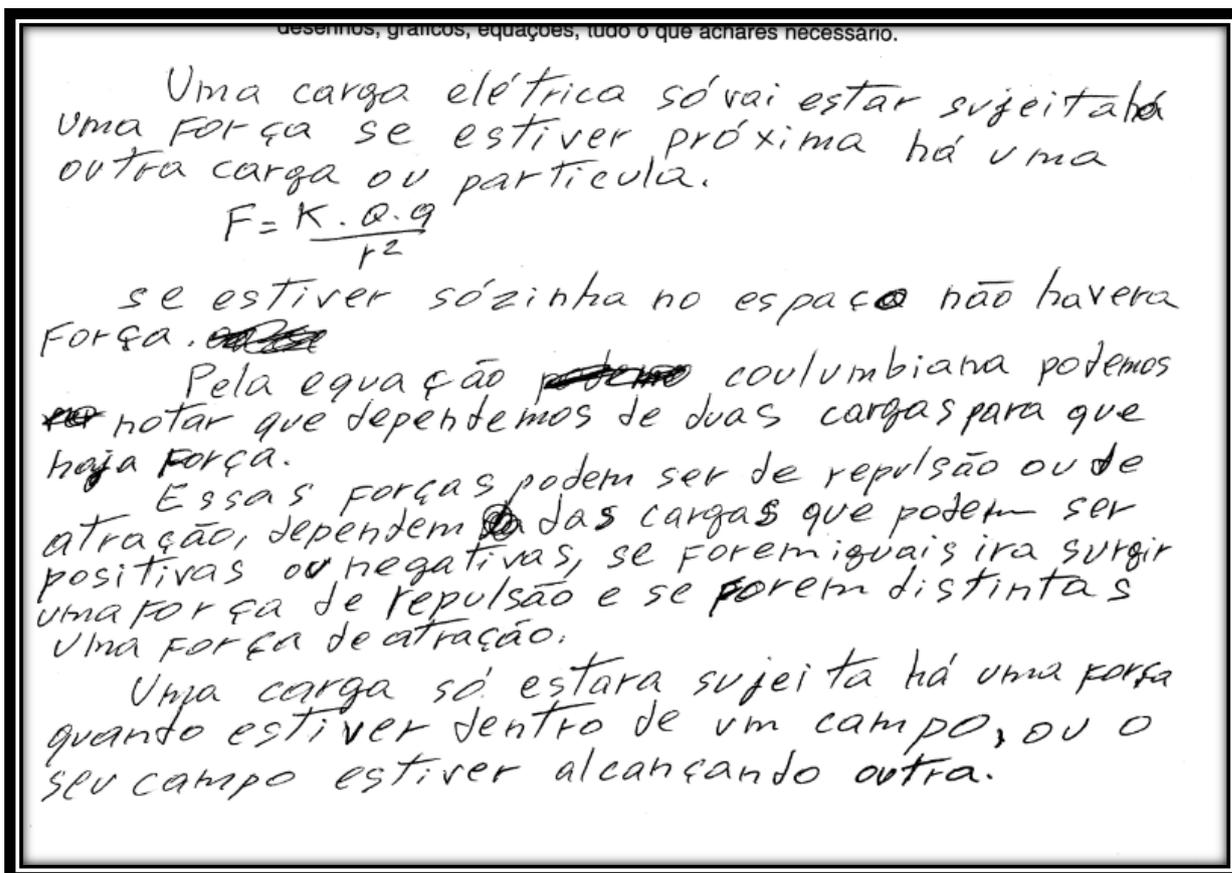
O estudante A5 tinha uma peculiaridade em relação aos demais, além de ele ser estudante do curso de Licenciatura em Física, possui formação no Curso Técnico em Eletromecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, campus Pelotas/RS.

Essa formação, antes do ingresso na Licenciatura em Física, permitiu a A5 ter um contato com alguns assuntos relacionados ao Eletromagnetismo os quais os outros estudantes aqui pesquisados não tiveram, pois, no seu projeto político-pedagógico, o curso de Eletromecânica dá uma forte ênfase aos temas que envolvem assuntos relacionados ao Eletromagnetismo, tais como elétrica, eletrônica, automação industrial, projetos elétricos, instalações elétricas e outros.

Mesmo com essa formação anterior ao curso de Licenciatura em Física, a resposta do estudante A5 à primeira questão do pré-teste (O que você entende sobre força de Lorentz?) foi simplesmente “*Não lembro!*”, ou seja, assim como A3, A5 não conseguiu esboçar uma definição dessa Força.

Entretanto, antes de utilizar a Simulação Computacional, na resposta de A5 à questão 9 do pré-teste (Escreva como se você estivesse explicando para um colega, como se dá as possíveis forças que atuam sobre uma carga elétrica. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achar necessário) o aluno referiu o caso específico que define a força elétrica resultante entre duas cargas eletricamente carregadas, como pode ser visto na Figura 55 abaixo.

Figura 55 - Resposta do estudante A5 à questão 9 do pré-teste.



Fonte: A pesquisa

O estudante demonstra saber da lei de Coulomb, pois, além de escrever a equação que a define, como pode ser visto na Figura 55 acima, A5, em um momento da entrevista, confirma que conhecia essa Lei e que inicialmente entendeu que essa lei seria referente à Força de Lorentz, como observado abaixo no recorte do diálogo feito.

A5: E tem a questão da velocidade inicial que se for zero para o Campo Magnético não tem força. Antes eu coloquei Coulomb, mas talvez nem tinha a ver, mas era o que eu achava.

O Simulador Computacional Tridimensional utilizado pelos estudantes auxiliou A5 a pensar e lembrar de alguns aspectos de Eletromagnetismo antes estudados por ele em sala de aula, uma vez que o aluno comenta que “começou a ligar” com os conhecimentos que ele já tinha, como ele próprio comenta na entrevista abaixo.

A5: É que depois de utilizar o simulador naquele dia eu lembrei, e eu não vi mais nada sobre isso depois, como eu tinha comentado aquele dia sobre a mão esquerda e tal eu comecei a “ligar”, depois de ter utilizado o simulador, depois de eu ir embora.

P: No teu tempo em casa então?

A5: Sim, claro depois que eu comecei a lembrar daí começou a fazer sentido pra mim, só que na hora assim, antes de utilizar a simulação eu não lembrava mesmo e talvez se tu fosse me explicar sem utilizar o simulador ia levar bem mais tempo para mim entender porque tu não consegue ver só através das formulas.

Esse depoimento demonstra uma potencialidade desse mecanismo de processamento extracerebral que é dar as condições para que os estudantes possam utilizar as capacidades cerebrais com o objetivo de refletir acerca das informações apresentadas pela Simulação Computacional.

A TMC, em sua essência, define que usamos a mediação como forma de lidar com a sobrecarga cognitiva e, neste caso, a Simulação Computacional Tridimensional executou algumas tarefas e rompeu com as dificuldades matemáticas, muitas vezes, encontradas na solução da equação que define a Força de Lorentz. Então o Simulador Computacional mostrou os resultados de forma com que o estudante pode fazer as conexões, mesmo nos dias que se sucederam à utilização do Simulador.

O processamento extracerebral representa, dessa forma, uma estratégia de evolução para superar limitações cerebrais. Sobre esse aspecto, Souza (2004) comenta que o ser humano evoluiu nos seus meios externos de processamento extracerebral, e essa evolução representa uma revolução cognitiva complexa, conforme o autor comenta:

a sofisticação e complexidade crescentes dos mecanismos internos e externos de mediação, assim como dos tipos de processamento extracerebral que eles permitem. Cada novo passo representa uma verdadeira revolução cognitiva, uma enorme expansão quantitativa e qualitativa no alcance da mente humana. (SOUZA 2004, p. 79)

Entende-se também que o método POE (Predizer – Observar - Explicar), utilizado no roteiro de utilização do Simulador, causou um conflito cognitivo no estudante (assim como em A1, A2 e A3) e este agregou as informações já existentes, novos conhecimentos, tentando formular um modelo mental mais completo do fenômeno observado na Simulação.

A explicação dada por A5 é mais completa que anteriormente e refere-se às duas situações simuladas pelo *Software* de Simulação, pois ele deixa claro, em sua fala, que visualizou essa diferença, como pode ser observado abaixo:

A5: No Campo Elétrico ela vai ter o mesmo sentido e a direção do campo que atua sobre ela, já no Campo Magnético não.

P: Que sentido pode ter o movimento dela no Campo Magnético?

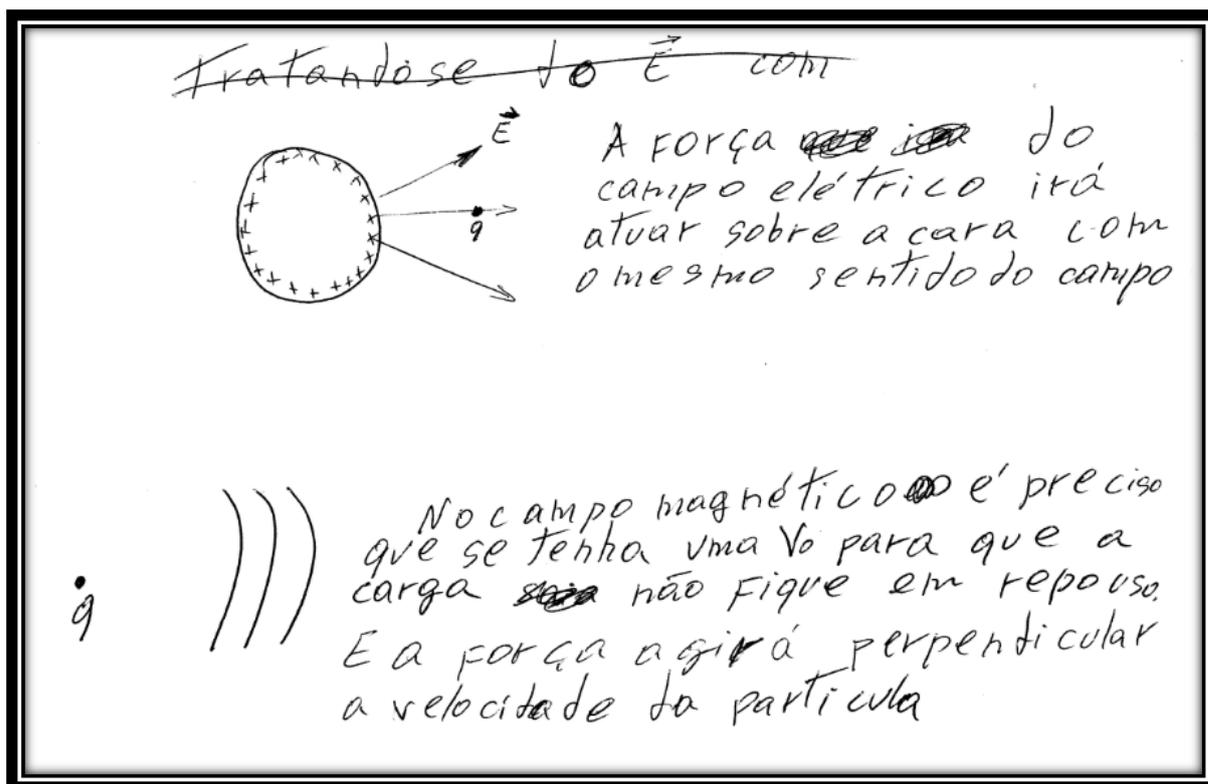
A5: Ela parecia perpendicular ao Campo Magnético.

P: Entendo!

A5: Ela vai ter outro movimento [09:15, #MAA] porque ela vai ter componentes diferentes em x e y.

Principalmente, porque, na resposta à questão 9, no pós-teste, o discente se utiliza de dois desenhos distintos para explicar as possíveis forças que podem atuar em uma carga, como pode ser visto na Figura 56 abaixo.

Figura 56 - Resposta do estudante 5 à questão 9 no pós-teste



Fonte: A pesquisa

Dessa forma, A5 demonstrou, com esses desenhos, as duas possíveis forças que podem atuar em uma carga. No primeiro momento, ele descreve a primeira parte da Equação 1 ($q\vec{E}$); no segundo, ele descreve a segunda parte da Equação 1 ($q(\vec{v} \times \vec{B})$).

A utilização da Simulação Computacional permitiu que o estudante assimilasse as duas possíveis forças que podem atuar sobre uma carga, comentando acerca dos benefícios de se utilizar esse recurso para a visualização tridimensional de conceitos Físicos: “*sem utilizar o simulador ia levar bem mais tempo para mim entender porque tu não consegue ver só através das fórmulas*”.

Por conseguinte, a Simulação Computacional utilizada se mostra como uma ferramenta que tem o potencial de auxiliar os estudantes a entender determinados conceitos de Eletromagnetismo que, muitas vezes, são de difícil assimilação.

Assim como outros alunos, A5 também demonstrou possuir conhecimento dos recursos mnemônicos utilizados em sala de aula para relacionar as três variáveis envolvendo a Força Magnética que podem atuar sobre uma carga. O seu conhecimento a respeito da “regra da mão direita” pode ser visto no diálogo abaixo.

A5: Pela regra da mão lá seria o campo né!? E esse campo tem um sentido [01:55, #3DME], (polegar) depois tem a [01:58, #3DME] velocidade (indicador), e esse dedo te tá a força né!? (dedo médio), vai te dar a força para o lado em que o campo estiver agindo.

O gesto que o estudante utilizou para explicar essa regra indica que ele possui uma imagem mental que representa um *driver* social. O estudante utiliza esse recurso para explicar, inicialmente, de uma maneira geral, a Força de Lorentz, como pode ser visto na Figura 57 abaixo.

Figura 57 - Imagem de A5 utilizando a regra da mão direita



Fonte: A pesquisa

Além da diferenciação entre a força elétrica e a força magnética feita pelo estudante na Figura 57, ele comenta sobre as diferenças entre elas (recorte da fala abaixo) e se utiliza do *driver* social para explicar (#3DMD) a Força magnética resultante sobre uma carga, como pode ser visto no recorte da entrevista abaixo.

A5: Ah mostrou sim né!? O Campo Elétrico ele age, embora na carga parada, ele tem uma ação. E já o Campo Magnético [04:12, #3DMD] ele depende de outras coisas.

O estudante demonstrou ter uma imagem mental relacionada à utilização do Simulador Computacional, pois ele se utiliza de um gesto dinâmico para a representação do movimento da carga em um Campo Magnético Tridimensional que é o #MC⁵⁵. O momento da categorização desse gesto pode ser visto no recorte da fala abaixo:

⁵⁵ Movimento de círculo. A mão direita está fechada, contendo somente o dedo indicador apontado para a frente do indivíduo, e a mão faz um movimento de círculo no ar. Imagem dinâmica.

A5: E também ele pode fazer aquele movimento [04:17, #MC] que até foi o último que a gente viu acho que posso chamar de helicoidal [04:20, #MC] né!?

P: É acho que podes chamar de helicoidal sim!

...

P: E tu enxergas isso... tu visses essa diferença quando ela está no Campo Magnético?

A5: Sim eu lembro do movimento em espira e o helicoidal.

A representação desse *driver* hipercultural pode ser visto na Figura 58 abaixo.

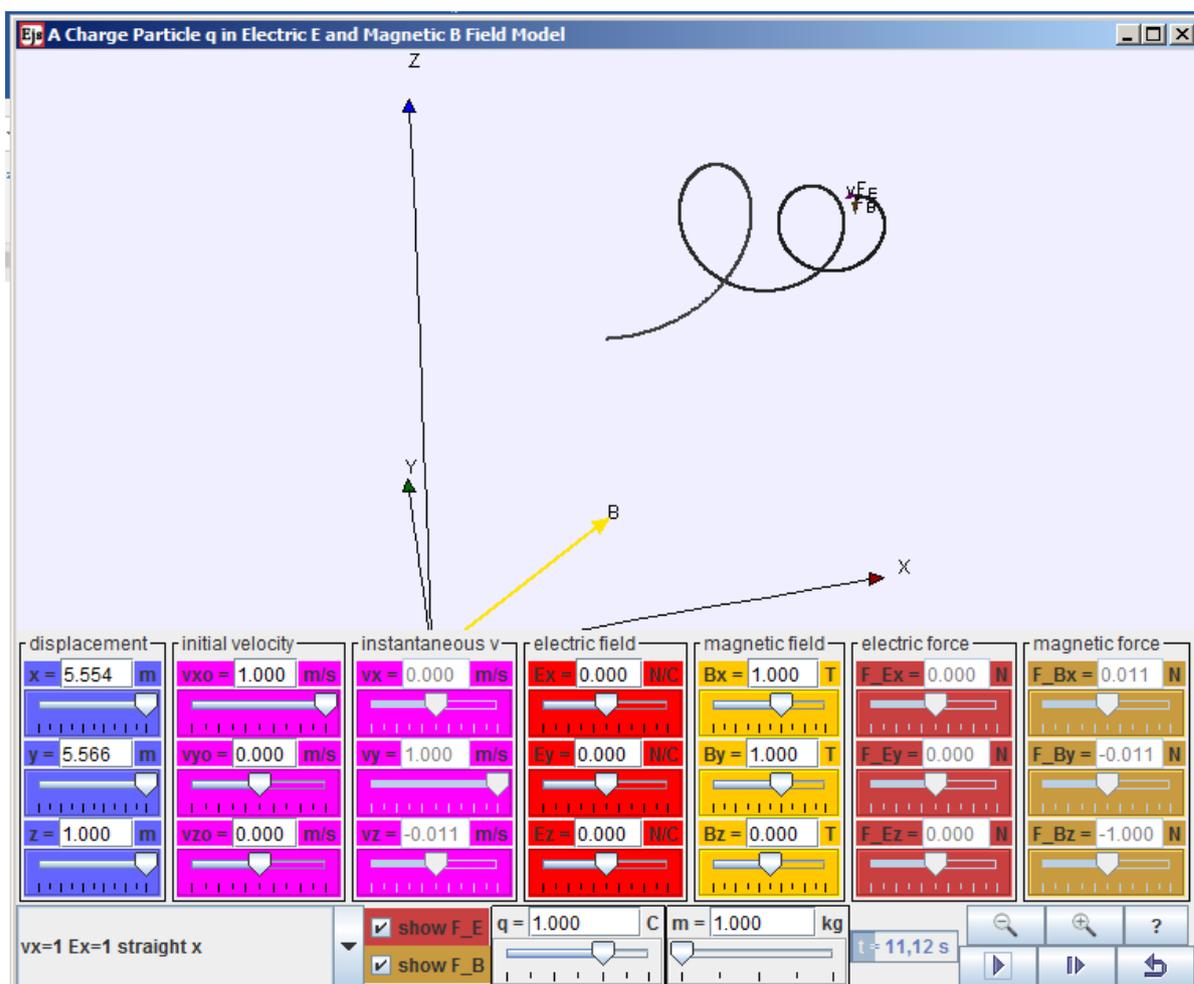
Figura 58 - *Driver* hipercultural que demonstra o movimento helicoidal da carga



Fonte: A pesquisa.

Essa representação indica um *driver* de hipercultural, pois é idêntica à Simulação de número oito, proposta no roteiro de utilização do *Software* (Figura 59) realizada pelo estudante, e ele comenta que “foi o último que a gente viu”.

Figura 59 - Movimento da Simulação número oito do roteiro de utilização do Simulador



Fonte: A pesquisa

Existe nesse caso um ganho de competências representacional adquirido pelo estudante A5, o que permitiu que ele resolvesse os problemas propostos no pós-teste de maneira correta, ou seja, a aquisição das representações científicas por intermédio da Simulação Computacional serviu como base para que o ele solucionasse os problemas que antes não tinham sido resolvidos. Abaixo está a Tabela 8 que mostra as respostas de A5 antes e após a utilização do Software de Simulação.

Tabela 8 - Respostas do Aluno-A5 aos problemas no pré e no pós-teste

Questão	2	3	4	5	6	7	8
Pré-teste	"e"	"a"	"d"	"b"	"a"	"e"	"b"
Pós-teste	"c"	"a"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"
Gabarito	"c"	"e"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"

Fonte: A pesquisa

No entanto, com relação ao conceito de campo, A5 não demonstrou possuir alguma diferenciação entre o Campo Magnético e o Campo Elétrico, tampouco uma definição mais completa desse conceito. Até mesmo porque o Simulador Computacional não possuía uma representação deste, prevalecendo o *driver* que o estudante tinha antes da Simulação, que é referente ao campo remeter à imagem de um imã, como A5 comenta no diálogo abaixo.

P: Então se eu te falar que tem uma carga imersa em um campo, imagina essa carga imersa nesse Campo Magnético, como tu imaginas esse campo? Tu imaginas ele de alguma forma?

A5: Eu imagino como linhas de forças.

P: E como são essas linhas de força, de onde elas vêm?

A5: Me vem exatamente um imã que seria, por exemplo, assim [03:45, #MAA] saindo do polo norte para o polo sul sabe?

P: Sim. Então quando se fala em campo tu lembra lá do imã?

A5: É eu me lembro do imã.

Na demonstração desse imã, o estudante se utiliza do gesto #MAA (Figura 60), em que ele coloca as mãos abertas no ar para indicar o Campo Magnético. Entende-se que o estudante já possuía uma representação tridimensional do Campo Magnético e que a utilização do Simulador Computacional não o auxiliou a modificar o *driver* social já existente referente à representação do conceito de campo.

Figura 60 - Representação do campo pelo estudante A5



Fonte: A pesquisa

Com relação à representação do conceito de carga elétrica, o estudante se utiliza do gesto que representa que ele “solta” um pequeno objeto no ar (#SCAMD). Isso indica que está soltando uma pequena bola no ar, semelhante à Simulação, como ele mesmo comenta:

P: E com relação a essa carga tu enxergas ou visualiza ela? Por exemplo, se eu falar para ti carga e campo vem alguma coisa na tua mente?

A5: Ah, isso sim de um [02:40, #MAA] elétron de um próton.

P: E o que te vem a mente? Alguma imagem algum desenho alguma forma, ou até alguma cor?

A5: Agora talvez por ter visto a simulação, me vem a demonstração na simulação.

P: Aham!!

A5: Mas eu já tinha essa imagem antes da simulação. Mas agora, talvez por ter sido a última coisa que eu vi, me vem aquela imagem na bolinha [03:01, #SCAMD] na minha cabeça.

A Figura 61 abaixo mostra a representação da “bolinha” sendo solta no ar feita pelo estudante A5.

Figura 61 - Gesto do estudante 5 referente a "soltando a carga no ar"



Fonte: A pesquisa

O estudante A5 demonstra modificar o seu *driver* cultural existente por um *driver* hipercultural referente à representação feita pelo Simulador Computacional do conceito de carga elétrica, que é um ponto ou uma “bolinha”, como ele comenta. Essa representação, contudo, não reflete uma representação mais completa do conceito de carga elétrica, ou seja, uma representação que envolvesse um perfil Maxwelliano de carga permanecendo, desse modo, a ideia de que a carga elétrica pode ser somente um ponto no ar.

7.2.6 Análise dos dados e resultados do aluno A6

O estudante A6, dentre todos aqui analisados, foi o que demonstrou possuir mais dificuldades com relação aos aspectos relacionados ao Eletromagnetismo. Vários autores comentam a respeito de que esse assunto é de difícil assimilação, por parte dos alunos, o que, muitas vezes, causa um desinteresse sobre esse assunto.

Mesmo após várias tentativas, por parte do entrevistador, de entender o que esse aluno possuía de conhecimentos prévios acerca do tema, não ficou claro se o estudante mudou o seu entendimento de alguns conceitos ou se estes continuaram os mesmos, que muitas vezes não foram esclarecidos pelo aluno.

Alguns conhecimentos a respeito de Eletromagnetismo, o aluno possuía, pois ele se utilizou de termos específicos dessa área da Física nas respostas aos testes, no roteiro de utilização do *Software* e durante a entrevista. Inicialmente, o estudante possui uma explicação alternativa para a Força de Lorentz, na qual comenta, com relação à primeira questão do pré-teste (O que você entende sobre força de Lorentz?), que *“É a Força que o campo exerce sobre uma carga que está inserida numa densidade de fluxo magnético/elétrico”*.

Porém, na resposta do aluno à questão 9 do pré-teste (Escreva como se você estivesse explicando para um colega, como se dá as possíveis forças que atuam sobre uma carga elétrica. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achar necessário), o aluno dá como resposta outro aspecto do Eletromagnetismo, que não é o mesmo anterior, respondendo que:

“As Forças que atuam sobre uma carga elétrica, dá-se pela regra básica onde cargas positivas irão ser atraídas por um potencial negativo e repelidas por um mesmo potencial positivo. Já cargas negativas, são atraídas por cargas/potenciais negativos e repelidas por um mesmo potencial negativo”.

Essas duas respostas não deixam claro o real entendimento do estudante sobre os conhecimentos prévios que ele possui a respeito de aspectos que se relacionam à Força de Lorentz, no entanto, demonstra ter tido contato com temas relacionados a ela.

Percebe-se que o estudante utilizou a Simulação Computacional e, por meio dela, visualizou alguns aspectos da Força de Lorentz, pois alterou a sua resposta com relação à primeira questão no pós-teste, respondendo: *“É a força que o Campo Magnético e o Campo Elétrico atuam em cargas que estão inseridas neste campo”*.

Pode ser visualizada também uma resposta diferente com relação à questão 9 no pós-teste onde A6 comenta que: “Cargas positivas acompanham o sentido do campo. Velocidades em eixos podem alterar o comportamento do deslocamento da carga”. No início dessa resposta, o estudante refere-se à força elétrica; já a segunda

parte da resposta refere-se à influência da velocidade no comportamento da carga (força magnética).

Com sua resposta a essa questão, de maneira geral, o estudante demonstrou possuir uma evolução nas respostas sobre as forças que podem atuar sobre a carga. Pode ser observado também que A6 possui uma imagem mental referente ao movimento da carga no sentido do Campo Elétrico. Nesse sentido, A6 comenta que:

A6: No simulador eu vi a carga se deslocando sempre no mesmo eixo. E isso eu vi só no simulador, eu não tinha essa ideia antes.

P: E como era esse movimento?

A6: Ele saía em direção a um eixo, não me lembro se era o x ou o y, e movimentava no sentido de um eixo tendo a velocidade mudando de valor [06:25, #MDA].

...

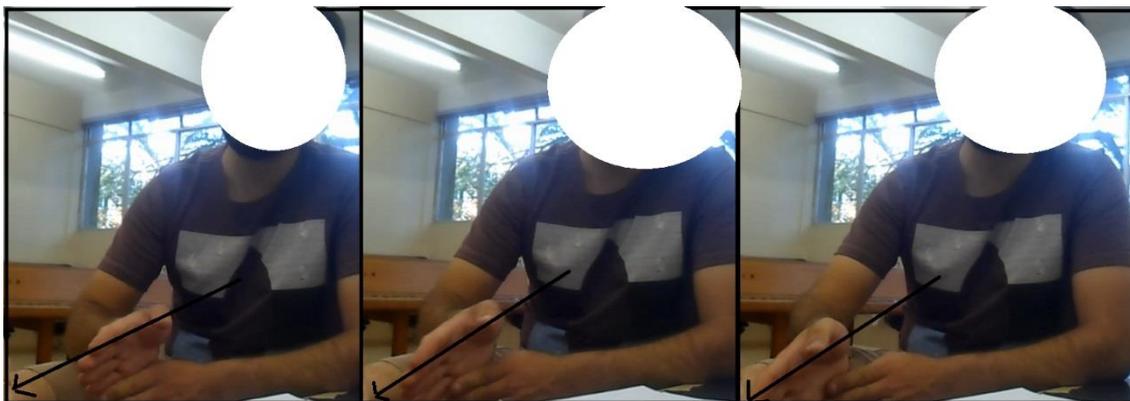
A6: Foi, pelo menos depois que eu vi no *Software*, não sei se eu manejando corretamente aqueles parâmetros ali, mas num dado momento eu vi que a velocidade da carga só aumentava e tendia ao infinito parecia sabe?

Na fala o estudante comenta a situação em que a carga acompanha o sentido vetorial do Campo Elétrico possuindo uma aceleração, questão esta que é a de número dois nos testes. E o estudante demonstra possuir uma imagem mental que indica um *driver* hipercultural por meio do gesto categorizado como #MDA⁵⁶.

A Figura 62 mostra o movimento realizado pelo estudante para explicar o deslocamento da carga que está imersa em um Campo Elétrico.

⁵⁶ Mão direita no ar. A mão direita está esticada no ar e faz um movimento dinâmico para frente. Imagem dinâmica.

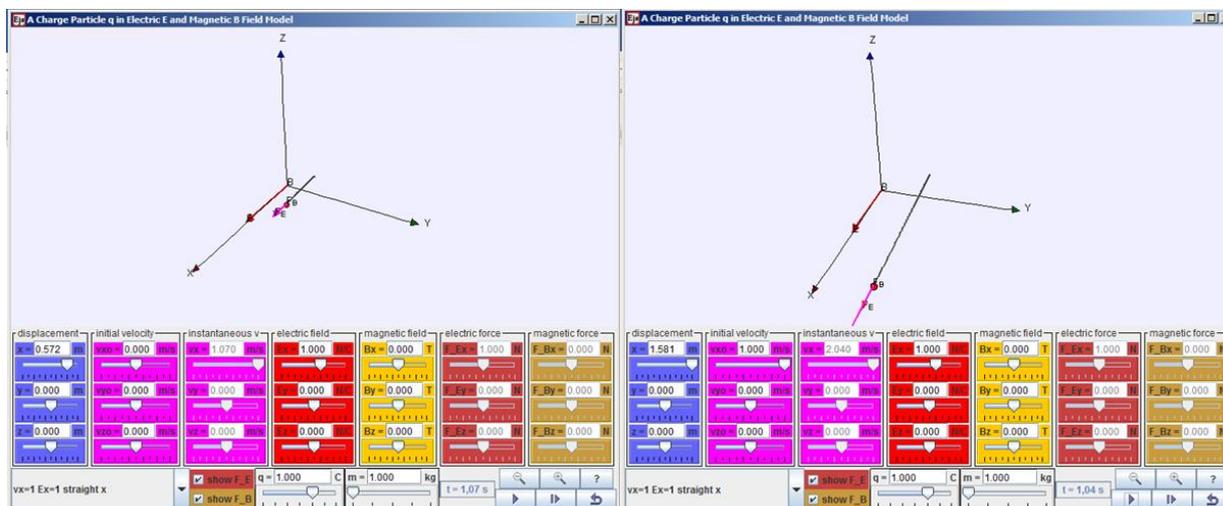
Figura 62 - Estudante 6 indicando o movimento da carga imersa em um Campo Elétrico



Fonte: A pesquisa

O gesto utilizado por A6 é um *driver* de hipercultural, pois se refere às primeiras situações estipuladas pelo Roteiro de utilização do *Software*, como pode ser visto na Figura 63 abaixo.

Figura 63 - Atividade 1 e atividade 2, respectivamente, do roteiro de utilização do Simulador Computacional



Fonte: A pesquisa.

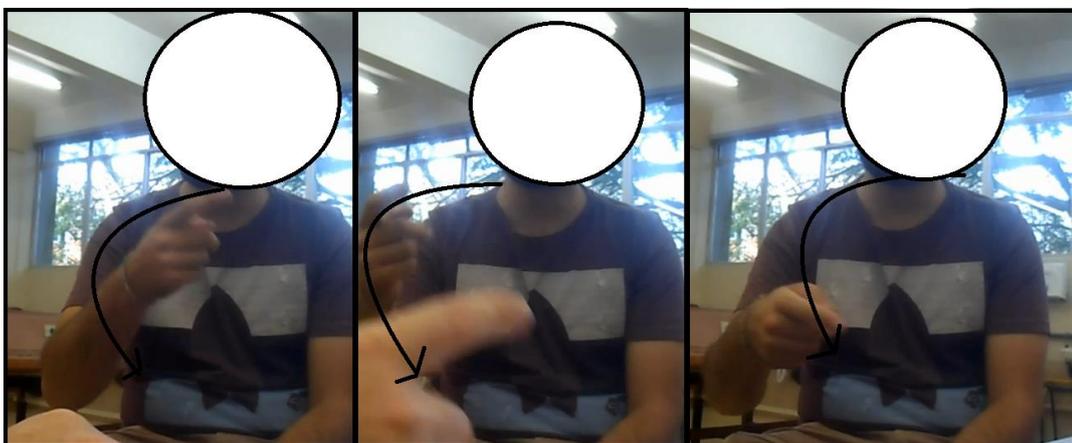
Além da situação acima exposta, o estudante também replica uma situação que foi vista na Simulação Computacional, em que a carga está imersa em um Campo Magnético contendo a componente da velocidade ortogonal ao Campo Magnético e o resultado da Simulação é um movimento circular. Nesse caso, A6, ao ser questionado

se a força Elétrica que poderia atuar sobre a carga é diferente da força Magnética, comenta que:

A6: Sim, tem diferença, porque o Campo Magnético tem o movimento circular ali [04:35, #MC].... e era nesse exemplo que a carga fazia uma “curvinha”.

O gesto #MC (Figura 64) empregado por A6 também foi utilizado por outros estudantes e mostra o movimento circular da carga. Esse gesto representa um *driver* hipercultural adquirido por esse estudante após a utilização do Simulador Computacional.

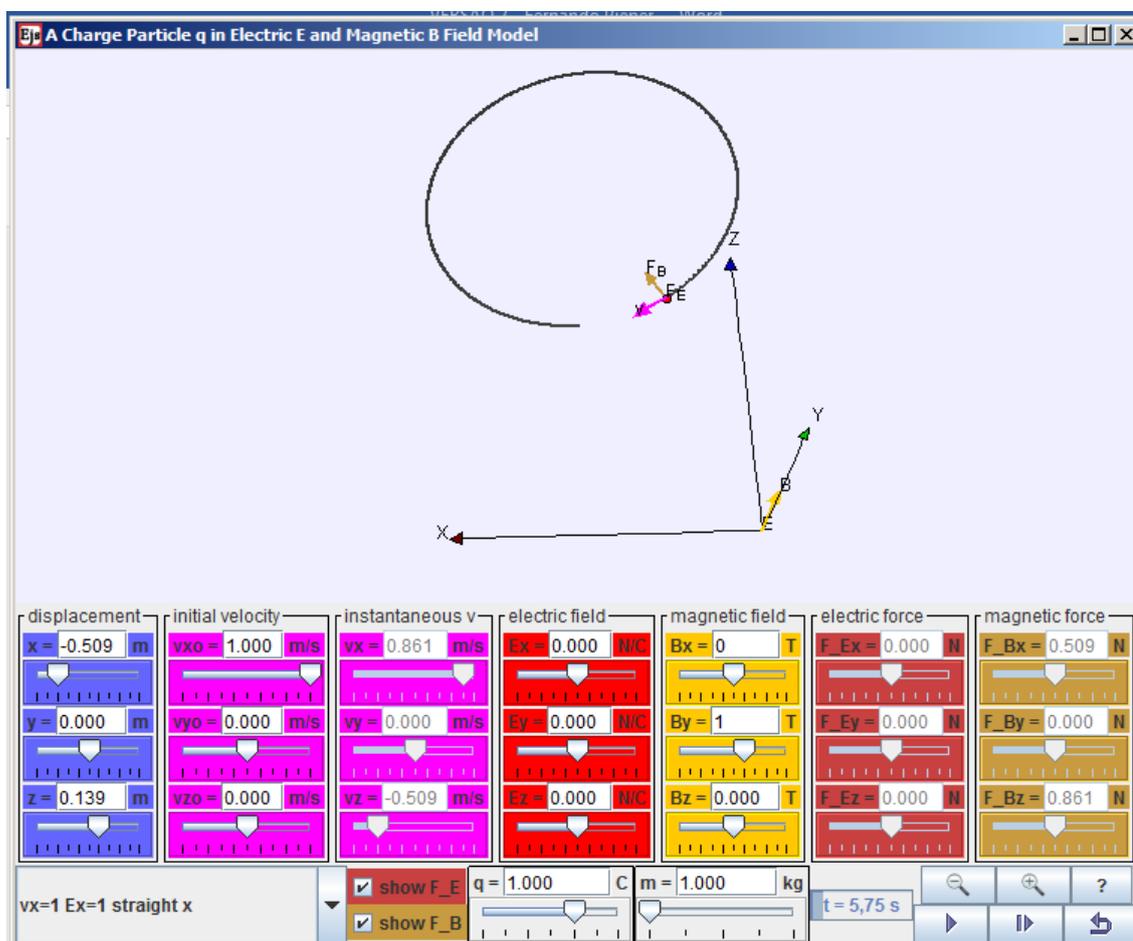
Figura 64 - Gesto feito por A6 indicando o movimento circular feito pela carga



Fonte: A pesquisa

A imagem mental, que permite um *driver* hipercultural ao estudante, mostrado por intermédio do movimento circular na Figura 64 acima, representa exatamente o movimento resultante da carga quando os estudantes realizam a simulação de número sete, proposta nos testes. Abaixo pode ser visto o resultado dessa simulação, e que foi representada pelo estudante com o gesto #MC (Figura 65).

Figura 65 - Movimento circular resultante da sétima simulação do Roteiro



Fonte: A pesquisa

Claramente, o estudante possui um *driver* hipercultural devido à utilização do Software, assim como os estudantes A1, A2, A3 e A5. O estudante também possui novas representações, o que lhe permite realizar simulações mentais⁵⁷ para resolver problemas de eletromagnetismo. Entretanto, assim como comentado antes, esse aluno demonstrou possuir dificuldades com os aspectos de eletromagnetismo, e, apesar dessas novas representações, A6 não resolveu os problemas, nem antes nem após a Simulação Computacional, como pode ser visto na Tabela 9 abaixo.

⁵⁷ Reproduzir mentalmente o que foi visualizado na Simulação Computacional.

Tabela 9 - Respostas do Aluno-A6 aos problemas no pré e no pós-teste

Questão	2	3	4	5	6	7	8
Pré-teste	"b"	"a"	"d"	"b"	"a"	"b"	"b"
Pós-teste	"a"	"a"	"d"	"a"	"a"	"a"	"b"
Gabarito	"c"	"e"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"

Fonte: A pesquisa

Desse modo, assim como os outros estudantes, com relação ao conceito de carga, A6 comenta a respeito da representação que foi feita em sala de aula, como pode ser observado no diálogo abaixo.

P: Quando falamos em carga tu pensa em alguma coisa ou te vem alguma coisa na mente... tipo alguma cor ou formato?

A6: Puntiforme, a professora sempre dava exemplos como sendo puntiforme.

P: E o que que é este objeto puntiforme, como é a representação disso na tua mente?

A6: É um ponto.

P: E esse ponto tem alguma cor?

A6: Não!

No decorrer da entrevista, o aluno não demonstrou possuir uma explicação diferente dessa ou ainda qualquer evidência de *drivers* referentes ao conceito de carga ou até um modelo mental dela. Essa evidência também se estende aos outros estudantes.

Ao ser questionado sobre o conceito de campo, A6 relaciona o Campo Magnético com a representação de um ímã e, com relação ao Campo Elétrico, menciona o Campo Elétrico entre duas placas carregadas na forma de um capacitor, como pode ser observado no recorte da fala abaixo.

P: Como tu imagina o Campo Elétrico?

A6: O Elétrico é mais difícil mas eu consigo exemplificar mais o Magnético.

P: Diz como é o Magnético então.

A6: O Magnético é pelos ímãs [12:45, #MAA] a curva que ele tem indo do norte para o sul e os polos. Já o Campo Elétrico a professora mostrou só o campo uniforme e a questão da placa de capacitor [12:57, #MAA] sabe? Tinha a placa positiva e a placa negativa.

Nenhuma dessas situações é mostrada na simulação, ou seja, o estudante já possuía essas representações antes de sua interação com o Software. Isso, e os relatos de A4, evidencia que as relações professores-alunos em sala de aula são muito importantes para a aquisição de representações e *drivers* de conceitos científicos por parte dos alunos.

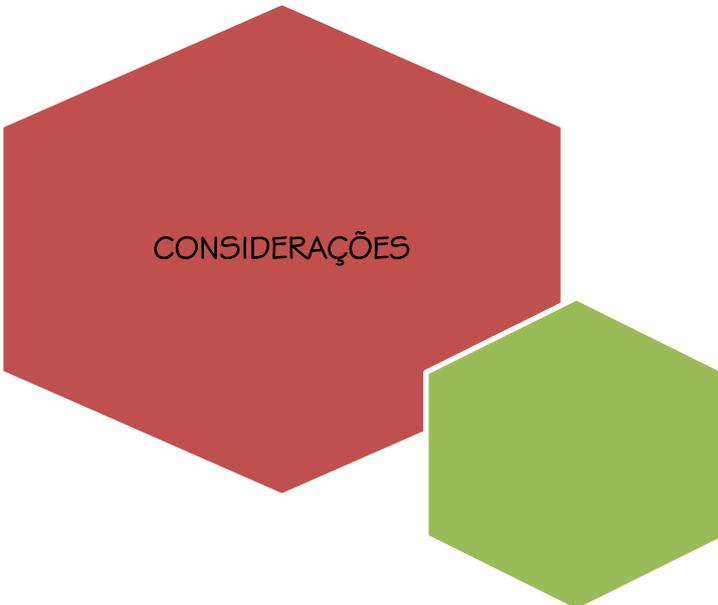
Por mais que A6 comente a respeito do professor da sala de aula, ele não demonstra claramente possuir um *driver* de social e tampouco de um *driver* hipercultural claro a respeito do conceito de campo, todavia ele utiliza o gesto categorizado como #MAA para indicar o campo (Figura 66).

Figura 66 - Gesto #MAA (mãos abertas no ar) feito pelo estudante A6



Fonte: A pesquisa

Ademais, esse gesto também foi utilizado por outros estudantes, quando se referiam ao campo, o que indica que os estudantes conferem uma característica tridimensional ao campo, como algo que estivesse organizado em um espaço tridimensional como uma bola grande.



CONSIDERAÇÕES

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não é novidade dizer que atualmente as Tecnologias da Informação e Comunicação estão cada vez mais presentes na nossa vida cotidiana e que essas ferramentas são poderosas quando se trata do seu potencial de processamento, armazenamento e gerenciamento de informações.

Como esta tese se encontra no eixo das Tecnologias de Informação e Comunicação para o Ensino de Ciências e Matemática, a investigação do potencial dessas ferramentas para o ensino de conceitos científicos se faz necessária. Considerando esses aspectos, o intuito aqui foi o de utilizar o ferramental da investigação das imagens mentais combinada com a análise do discurso e com as respostas dos estudantes aos testes propostos para elucidar o papel das representações tridimensionais utilizadas na simulação, e se elas foram internalizadas e auxiliaram a resolver problemas pelos estudantes de Licenciatura em Física durante a utilização de um *Software* de Simulação Computacional Tridimensional.

Assim, a pergunta-chave desta pesquisa foi: **De que forma Simulações computacionais tridimensionais, utilizadas didaticamente por licenciandos em Física, auxiliam-nos na resolução de problemas de Eletromagnetismo (resolvidos e não resolvidos) por meio da aquisição de representações mentais (*drivers*)?** Dessa principal pergunta, surgiram alguns objetivos específicos nesta pesquisa como o que se refere a identificar as imagens mentais e os “*drivers*”, por meio da linguagem verbal e gestual, que os estudantes utilizaram para resolver os problemas relacionados à Força de Lorentz após a utilização da Simulação Computacional, segundo a TMC.

O autor da TMC explicou que os *drivers* são construídos pelos estudantes no processo de aquisição de conhecimentos. Esses *drivers* podem ser construídos a partir de um ou mais *drivers* de distintas naturezas: de natureza psicofísica, utilizando seus conhecimentos do ambiente; de natureza social, adquiridos no convívio social com outros estudantes e professores; cultural, adquiridos a partir do acesso a livros e a outras mídias que trazem um conjunto de conhecimentos e culturas da área, ou hipercultural, construídos por mediação com a hipercultura.

De maneira geral, duas categorias de gestos emergiram a partir dessa análise na qual, uma delas se refere aos gestos referentes as imagens mentais devido a

utilização da Simulação Computacional (em sua maioria gestos dinâmicos), ou seja, imagens mentais com origem em uma mediação digital em que, nessa categoria de gestos, podemos citar o “movimento circular” (#MC). Entende-se que esses gestos mostram a simulação como mediadora no processo de aquisição de novos conhecimentos gerando, assim, *drivers* hiperculturais.

Já a outra categoria de gestos identificada foi a que demonstra que os alunos possuíam conhecimentos prévios, quando utilizaram o Simulador, por intermédio de gestos que indicavam os recursos mnemônicos utilizados em sala de aula como auxílio no ensino de Eletromagnetismo. O principal gesto utilizado pelos estudantes foi o “três dedos da mão direita” (#3DMD) que indica a “regra da mão direita”. Estes foram identificados como sendo *drives* sociais.

Os *drivers* que os estudantes desta pesquisa demonstraram possuir, a partir desses gestos, durante a resolução dos problemas propostos foram identificados e categorizados, e a Tabela 3 foi montada, como pode ser observado no início do Capítulo 7. Dessa forma, ficou evidenciado que a maioria dos estudantes, aqui pesquisados, demonstrou utilizar alguns gestos que possuem a sua origem nos chamados recursos mnemônicos. A utilização desses recursos pelos professores em sala de aula permite aos alunos a aquisição de *drivers* sociais referente à utilização desses recursos. A imagem mental que representa o *driver* social mais utilizado pelos estudantes foi classificada como #3DMD⁵⁸ ou #3DME⁵⁹.

Tabela 10 - Alunos que utilizaram o gesto universal #3DMD ou #3DME

A1	A2	A3	A4	A5	A6
	3DME			3DME	
3DMD	3DMD		3DMD	3DMD	

Fonte: A pesquisa

Como pode ser observado na Tabela 10 acima, que é um recorte da Tabela 3⁶⁰, quatro dos seis estudantes demonstraram possuir este *driver* social referente à chamada “regra da mão direita” em que os estudantes A1 e A4 deram preferência em

⁵⁸ #3DMD – Três dedos da mão direita. Os três dedos da mão direita, polegar o indicador e o dedo médio, estão posicionados no ar formando um ângulo de 90 graus entre si. Imagem estática.

⁵⁹ #3DME – Três dedos da mão esquerda. Os três dedos da mão esquerda, polegar o indicador e o dedo médio, estão posicionados no ar formando um ângulo de 90 graus entre si. Imagem estática.

⁶⁰ Pagina 129.

algum momento para a utilização desse recurso durante a explicação de como foram resolvidos os problemas dos testes. Nota-se a importância da interação aluno-professor no processo de ensino-aprendizagem, e a preferência pelos *drivers* sociais sobre os hiperculturais pôde ser observada principalmente pelo estudante A4.

Os alunos, através da análise gestual que foi feita, demonstraram possuir imagens mentais dinâmicas onde estes reproduziram mentalmente algo que foi visualizado na Simulação Computacional (*drivers* hiperculturais). O que envolveu uma situação que não é nova, mas uma reprodução do que foi visto no Simulador que os dotou de conhecimentos necessários para resolver problemas antes não resolvidos.

A maioria dos estudantes aqui pesquisados se utilizaram destes *drivers* hiperculturais durante a explicação de como resolveram os problemas propostos nos testes, e esses *drivers* tiveram como origem o Software de Simulação, pois foram feitos exatamente conforme algumas situações propostas no Simulador.

Como o conceito geral aqui estudado (Força de Lorentz) envolve duas situações em que a carga está em um movimento devido ao campo Elétrico (primeira parte da equação que define essa força, $q\vec{E}$), e a outra é onde a carga está em um movimento devido ao Campo Magnético (segunda parte da equação que define essa força, $q(\vec{v} \times \vec{B})$) entendemos que a utilização da simulação computacional pelos estudantes dotou-os de novas representações que fizeram com que a maioria deles diferenciasssem estas duas situações que envolvem a Força de Lorentz.

E a diferenciação dessas situações pode ser percebida por meio dos *drivers* hiperculturais os quais os estudantes demonstraram possuir com as imagens mentais que geraram gestos dinâmicos. Os gestos que mais se associaram ao movimento da carga quando esta está imersa em um Campo Elétrico, e que foi feito por pelo menos quatro dos seis estudantes para representar a força Elétrica que atua sobre a carga, foi o gesto intitulado #IMD⁶¹ ou #IME⁶², como pode ser visto na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 - Alunos que utilizaram o gesto universal #IMD ou #IME

A1	A2	A3	A4	A5	A6
----	----	----	----	----	----

⁶¹ #IME – Indicador da mão esquerda. A mão esquerda está fechada e tem somente o indicador apontando para o papel e fazendo um leve movimento para frente. Imagem dinâmica.

⁶² #IMD – Indicador da mão direita. A mão direita está fechada e tem somente o indicador apontando para o papel e fazendo um leve movimento para frente. Imagem dinâmica.

IME		IMD	IME	IMD	IMD
		IMDAD			MDA
		IMDA			
		IMDC			

Fonte: A pesquisa

Existe uma literatura já estabelecida na área afirmando que a utilização de recursos hiperculturais poderá propiciar ao estudante uma visão mais dinâmica dos processos, que, neste caso, são eletrodinâmicos. Concordamos com alguns autores (WOLF, 2015; RAMOS, 2015; PIEPER, 2014) com relação a essa possibilidade, pois a visão dinâmica das duas possibilidades de forças que podem atuar sobre uma carga foi percebida pelos estudantes. Abaixo está o recorte da Tabela 3, na qual é possível observar que quatro dos estudantes utilizaram gestos dinâmicos que evidenciam o movimento circular da carga, ou o seu movimento hiperbólico (segunda parte da Equação 1), quando ela está imersa em um Campo Magnético, e o gesto mais utilizado pelos estudantes foi o #MC.

Devido ao fato de que estes assuntos relacionados ao Eletromagnetismo são abstratos, ou seja, são fenômenos que não podem ser observados diretamente na natureza, somente as suas causas ou seus efeitos, nenhum *driver* psicofísico foi observado nesta pesquisa, o que prova a natureza abstrata do eletromagnetismo, e, com isso, a difícil compreensão dessas ideias.

Tabela 12 – Alunos que utilizaram o gesto universal #MC

A1	A2	A3	A4	A5	A6
	MC		MCMD e MCME	MC	MC

Fonte: A pesquisa

De uma maneira geral, observamos que existiu uma evolução conceitual dos estudantes a respeito das duas ideias centrais que estão presentes na Força de Lorentz. Dessa forma, a primeira é referente à força exercida por um campo elétrico em uma carga, e ela tem a direção deste campo ($\vec{F}_E = q\vec{E}$), e a segunda se refere à força exercida por um Campo Magnético sobre uma carga, que possui uma velocidade

\vec{v} , onde a direção da força magnética depende da relação vetorial entre o Campo Magnético e a velocidade da carga ($\vec{F}_M = q (\vec{v} \times \vec{B})$).

Comumente é exemplificado em sala de aula e em livros didáticos o exemplo em que a carga realiza um movimento resultante circular devido à ação do Campo Magnético. No entanto, o movimento resultante helicoidal que foi retratado na simulação, muitas vezes, não é visto em sala de aula e foi realizado por A2, A3 e A5. Esses aspectos retratam a influência da Simulação Computacional na capacidade visuoespacial dos estudantes e o que mais adiante culminou com a resolução de quase todos os problemas propostos.

Acreditamos que antes da Simulação Computacional os alunos se utilizavam da “estática” para resolver os problemas de Eletromagnetismo associados a Força de Lorentz (*drivers* de origem social), e que depois da utilização da Simulação Computacional os estudantes se utilizaram de movimentos associados a “dinâmica” dos fenômenos observados (*drivers* de origem hipercultural).

Entretanto, ao analisarem-se outros conceitos que poderiam ser melhor compreendidos com a utilização da Simulação Computacional, como o conceito de Carga, percebe-se que o Software utilizado dotou os estudantes de um *driver* hipercultural que representa a carga somente como um ponto no espaço, como pode ser visto na Tabela 13 (recorte da Tabela 3) abaixo que mostra que o gesto universal #SCAMD⁶³ foi utilizado por quatro dos seis sujeitos da pesquisa.

Tabela 13 - Alunos que utilizaram o gesto universal #SCAMD

A1	A2	A3	A4	A5	A6
	SCAMD	SCAMD	SCAMD	SCAMD	

Fonte: A pesquisa

Esta representação pontual da carga, segundo alguns autores, é a representação que indica o seu primeiro perfil conceitual e que o segundo perfil conceitual da carga seria uma representação “Maxwelliana” da carga, ou seja, que vai além de um ponto preto no espaço se estendendo a todo o espaço circundante da carga. Ou seja, o primeiro perfil é pré-requisito para o segundo perfil e, com isso, “os

⁶³ #SCAMD – Soltando a carga no ar mão direita. A mão direita está no ar com todos os dedos juntos direcionados para baixo. Imagem estática.

alunos encontraram sérias dificuldades em compreender o segundo perfil conceitual [...]” (FURIO; GUIASOLA, 1997, p. 517).

Outro conceito investigado foi o de campo Elétrico e campo Magnético ou a diferenciação desses dois. Como a Simulação Computacional não mostra claramente o campo, somente a sua influência sobre a carga, os alunos não demonstraram evidências de *drivers* que poderiam indicar esses dois. O gesto que fora utilizado para indicar o Campo e eventualmente a carga foi o #MAA⁶⁴. Quatro dos seis participantes da pesquisa se utilizaram desse gesto, como pode ser visto na Tabela 14 abaixo, que é um recorte da Tabela 3.

Tabela 14 – Alunos que utilizaram o gesto universal #MAA

A1	A2	A3	A4	A5	A6
MAA		MAA		MAA	MAA

Fonte: A pesquisa

Esse gesto foi utilizado para representar a carga (A1 e A6) e, simultaneamente, o campo e a carga (A3 e A5), porém a origem dessa representação chamada de #MAA é desconhecida. Ela pode ser oriunda da interação professor-aluno (*driver* social) ou oriunda da representação da carga sendo um ponto pelo Simulador Computacional (*driver* hipercultural), ou é uma representação que se construiu culturalmente a respeito do conceito de campo (*driver* cultural) ou ainda, o que é menos provável, que seja um *driver* psicofísico. Pesquisas mostram que muitos alunos do Ensino Superior ainda apresentam dificuldades em lidar com os conceitos de Campo Elétrico e Campo Magnético, devido à abstração neles envolvida, pois esses conceitos, embora estejam presentes no dia-a-dia, estão fora do nosso domínio concreto.

Por mais que os alunos não demonstraram possuir novas representações dos conceitos de carga e campo, isso devido às limitações do Software utilizado, eles conseguiram resolver quase todos os nove problemas propostos no teste, como pode ser observado na Tabela 15 abaixo, uma vez que, de maneira geral, as duas

⁶⁴ #MAA – Mãos abertas no ar. As mãos estão abertas no ar uma de frente para a outra e constantemente movimentam-se uma na frente da outra e também movimentando um pouco os dedos. Imagem dinâmica.

representações das possíveis forças que podem atuar em uma carga, conforme a Força de Lorentz, foram internalizadas pelos estudantes.

Tabela 15 - Respostas dos alunos nos pós-testes

	2	3	4	5	6	7	8
A1	"b"	"e"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"
A2	"b"	"c"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"
A3	"c"	"a"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"
A4	"a"	"c"	"d"	"b"	"a"	"e"	"a"
A5	"c"	"a"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"
A6	"a"	"a"	"d"	"a"	"a"	"a"	"b"
Gabarito	"c"	"e"	"d"	"e"	"d"	"d"	"e"

Fonte: A pesquisa

Os problemas de número dois e três foram os que apresentaram um baixo índice de resolução, e somente dois dos alunos demonstraram não conseguir resolver a maioria das questões. Para os outros, a aquisição de novas representações de Eletromagnetismo os capacitaram a resolver os problemas propostos nos testes. Percebemos, por esses exemplos, o quanto são importantes as habilidades visuoespaciais para a realização de simulação mental a fim de resolver problemas em Física. Mesmo que estas Simulações se refiram a algumas situações que os estudantes observaram no *Software*.

Em alguns momentos, os *drivers* hiperculturais foram utilizados, quando o *driver* social não foi suficiente para responder o problema. Entende-se aqui que houve uma forte referência aos *drivers* sociais, e que os estudantes dificilmente irão evoluir este *driver* social, principalmente, pelo hipercultural. Isso somente poderá ocorrer quando o Social não for suficiente para resolver o problema.

Cabe salientar que a metodologia, composta pela técnica *report aloud* em conjunto com a análise gestual, foi capaz de nos conduzir para a identificação dos *drivers* sociais e hiperculturais assim como os conhecimentos novos, adquiridos com o manuseio do *Software*. Ao longo de toda a apresentação dos resultados, vemos gestos produzidos e declarações transcritas que mostram esses conhecimentos.

Ao analisar os *drivers* e as transcrições, verificamos também que alguns estudantes, algumas vezes, passam a descrever melhor quando utilizam o *driver* hipercultural relacionando este com a simulação, mas, conceitualmente, eles tiveram

dificuldades em descrever o que seria a Força de Lorentz, relacionando-a apenas com a característica do movimento em que “segue o campo” ou “depende da velocidade”. Até porque a definição desse conceito específico de Eletromagnetismo não é simples de ser feita.

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, A2, A3 e A5) 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), 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.

Não conseguimos, e nem esta era a nossa intenção, determinar a importância individual de cada estratégia didática, mas pudemos perceber claramente o quão positivo foi para o aprendizado dos conteúdos de Física, de maneira geral, a possibilidade de interação e de visualização fornecidas pelas simulações. A simples existência dos novos *drivers* dotou alguns estudantes de ferramentas cognitivas que aumentaram certas competências e raciocínio. Neste conhecimento implícito, houve a produção de imagens mentais que, na nossa opinião, são fundamentais para o processo de resolução de problemas. Essas imagens mentais foram mostradas nos gestos descritivos dos estudantes. Neste sentido, consideramos que as habilidades visuoespaciais são um facilitador do processo de criação de novas representações e imagens mentais.

Pessoalmente, percebi que a questão da mediação social foi tão importante nesta pesquisa pois agora na minha práxis, dentro de Eletromagnetismo, eu utilizo bastante os instrumentos de mediação social para ensinar as questões tridimensionais que envolvem a carga imersa tanto em um campo Elétrico como em um campo Magnético.

Com isso, entendemos que a questão é que o processo de ensino-aprendizagem é complexo, assim como a dinâmica estabelecida em uma sala de aula, e possivelmente não existam soluções "mágicas", ou completamente eficazes. Talvez

as tecnologias de informação e comunicação devam ser encaradas apenas como recursos auxiliares, pois não defendemos a sua utilização como soluções definitivas ou ainda como substitutas da ação docente, haja visto que os estudantes desta pesquisa, algumas vezes, deram preferência à utilização de *drives* sociais (regra da mão direita) para resolver os problemas propostos.

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. et al. Análise de metodologia baseada no sistema de ensino individualizado de Keller aplicada em um curso introdutório de eletromagnetismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1403 (1-12), 2011.
- ALVES, D.; AMARAL, J.; MEDEIROS NETO, J. Aprendizagem de Eletromagnetismo via programação e computação simbólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 201-204, Junho 2002.
- ARAUJO, I. S. **Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de física geral**. Tese de doutorado em Física - UFRGS. Porto Alegre, p. 238. 2005.
- ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Porto Alegre, p. 5-18, 2004.
- ARAUJO, I.; VEIT, E.; MOREIRA, M. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, 2004.
- ARAUJO, I.; VEIT, E.; MOREIRA, M. Simulações computacionais na aprendizagem da lei de Gauss para a eletricidade e da lei de Ampère em nível de Física Geral. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, p. 601-629, 2007. ISSN 3.
- ARAUJO, M.; ANJOS, Q. Determinação da sensibilidade de bobinas magnéticas utilizando a lei de indução de Faraday. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 2, p. 277-287, ago 2006.
- ARAÚJO, M.; MÜLLER, P. "Levitação magnética": Uma aplicação do Eletromagnetismo. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 110-115, abr 2002.
- BENNETT, S.; MATON, K.; KERVIN, L. **The „digital natives“ debate: A critical review of the evidence**. British Journal of Educational Technology. British Journal of Educational Technology, 2008.
- BRANDAMANTE, F.; VIENNOT, L. Mapping Gravitational and Magnetic Fields with Children 9–11: Relevance, difficulties and prospects. **International Journal of Science Education**, p. 349-372, 2007.
- CLEMENT, J. J.; STEPHENS, A. L. Documenting the use of expert scientific reasoning process by high school physics students. **Physics Education Research**, v. 6, n. 2, 2010.
- COUTINHO, C.; CHAVES, J. O estudo de caso na investigação em Tecnologia Educativa em Portugal. **Revista portuguesa de Educação**, Universidade do Ninho, v. 1, n. 15, p. 221-244, 2002.

DIAS, V.; MARTINS, R. Michael Faraday: O caminho da livraria à descoberta da indução Eletromagnética. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004.

DORNELES, P.; ARAÚJO, I.; VEIT, E. Integrações entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em Física Geral. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 99-122, 2012.

FURIO, C.; GUIASOLA, J. Difficulties in Learning the Concept of Electric Field. **Science Education**, p. 511-526, 1997.

FURIO, C.; GUIASOLA, J. Dificuldades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. **Enseñanza de Las Ciências**, p. 131-146, 1998.

GUERRA, A.; REIS, J.; BRAGA, M. Uma abordagem Histórico-Filosófica para o Eletromagnetismo no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 2, p. 224-248, ago 2004.

GUIASOLA, J. et al. Dificuldades persistentes en el aprendizaje de la electricidad: Estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de Carga Eléctrica. **Enseñanza de las Ciências**, p. 177-192, 2008.

GUIASOLA, J.; ALMUDI, J.; FURIÓ, C. The nature of science and its implication for Physics textbooks. **Science & Education**, v. 14, p. 321-338, 2005.

GUIASOLA, J.; ALMUDI, J.; ZUBIMENDI, J. Difficulties in Learning the introductory magnetic field theory in the first years of University. **Science Education**, 2004. 443-464.

GUIASOLA, J.; MONTEIRO, A.; FERNÁNDEZ, M. La historia del concepto de fuerza electromotriz en circuitos eléctricos y la elección de indicadores de aprendizaje comprensivo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 1604 (1-8), 2008.

GUISSASOLA, J. et al. **Using the Processes of Electrical Charge of Bodies as a Tool in the Assessment of University Students' Learning in Electricity**. [S.l.]: Contributions from Science Education Research, 2007.

HALIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física - Eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 3, 2010.

LAUDAN, L. **El progreso y sus problemas**: Hacia una teoría del crecimiento científico. Madrid: [s.n.], 1986.

LAUDAN, L. **O progresso e seus problemas**: Rumo a uma teoria do crescimento científico. 1. ed. São Paulo: Unesp, 2011.

LÉVY, P. **Cibercultura**. 3. ed. [S.l.]: 34, v. 1, 1999.

LUDTKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. **Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas**. EPU. São Paulo. 1986.

MACEDO, J.; DICKMAN, A.; ANDRADE, I. Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 562-613, set 2012.

MALONEY, D. P. et al. Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. **American Association of Physics Teachers**, v. 69, n. 7, p. 12-23, Julho 2001.

MARGARYAN, A.; LITTLEJOHN, A.; VOJT, G. Are digital natives a myth or reality? University student's use of digital. **Computers & Education**, p. 429-440, 2011.

MARTIN, J.; SOLBES, J. Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de Campo en Física. **Enseñanza de las Ciencias**, p. 393-403, 2001.

MARTINS, A. A.; GARCIA, N. M. D. Ensino de Física e novas tecnologias de informação e comunicação: Uma análise da produção recente. **VIII ENPEC**, 2012.

MAUK, H. V.; HINGLEY, D. Student understanding of induced current: Using tutorials in introductory physics to teach electricity and magnetism. **American journal of Physics**, v. 73, 2005.

MERRIAN, S. **Case study research in education: A qualitative approach**. Jossey-Bass. São Francisco. 1988.

MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J. J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 9, p. 921-944, 1999.

MONTEIRO, M. A. A. et al. As atividades de demonstração e a teoria de Vigorsky: Um motor elétrico de fácil construção e baixo custo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, agosto 2010. 371-384.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva**. Ijuí. 2011.

MOREIRA, A.; PINTO, O. Dificuldades dos alunos na aprendizagem da Lei de Ampère, à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, Setembro 2003. 317-325.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da Física na Educação Contemporânea. **Revista do professor de Física**, 2017.

MORINI, E. B. M. **Atividades experimentais de Física à luz da epistemologia de Laudan: Ondas mecânicas no ensino médio**. Dissertação do mestrado profissional em Ensino de Física - UFRGS. Porto Alegre. 2009.

OLIVEIRA, V.; VEIT, E.; ARAUJO, I. Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (Just - in - Time - Teaching) e Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) para o Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo no nível médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 180-206, 2015.

PARANHANOS, R. et al. Uma introdução aos métodos mistos. **Sociologias**, Porto Alegre, ago 2016. 384-411.

PARK, J. et al. Analysis of students' process of confirmation and falsification of their prior ideas about electrostatics. **International Journal of Science Education**, v. 23, p. 1219-1236, 2001.

PAZ, A. M. **Atividades experimentais e informatizadas: Contribuições para o Ensino de Eletromagnetismo**. Tese em Educação Científica e Tecnológica - UFSC. Florianópolis, p. 228. 2007.

PIEPER, F. **Um estudo de caso sobre a aprendizagem de conceitos de Eletromagnetismo: a influência da hipercultura e mediação digital**. Dissertação em Ensino de Ciências e Matemática - ULBRA. Canoas. 2014.

PIEPER, F.; ANDRADE NETO, A. The 'state of art' of the research on magnetic field teaching: A review of physics education literature between 1995 and 2015. **Acta Scientiae**, Canoas, 2016.

PIMENTEL, J. et al. Novos usos para componentes de um velho disco rígido de computador. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, p. 194-202, 2004.

PIMENTEL, J.; ZUMPANO, V. Demonstre em aula: Corrente de Foucault exploradas com um disco rígido de computador. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 160-167, abr 2008.

PRENSKY, M. **Digital Natives, Digital Immigrants**. [S.l.]: University Press, v. 9, 2001.

PRESSLEY, M.; LEVIN, J. **Cognitive Strategy Research**. [S.l.]: Spring Series, 1983.

RAMOS, A. F. **Qual a influência de Software de modelagem molecular na aprendizagem de conceitos químicos**. Tese em Ensino de Ciências e Matemática - ULBRA. Canoas. 2015.

RAUPP, D. et al. Uso de um *software* de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica: Um estudo de caso baseado na teoria da mediação cognitiva. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 2010. 18-34.

RAUPP, D. T. **Alfabetização tridimensional contextualizada e histórica no campo conceitual da estereoquímica**. Porto Alegre: UFRGS, 2015.

ROCHA, J. R.; ANDRADE NETO, A. S. Um estudo de caso exploratório sobre a internalização de conceitos sobre Eletrostática: A influência da Hipercultura e Mediação Digital. **Novas tecnologias da Educação**, Porto Alegre, Dezembro 2013.

ROJAS, A.; RITTO, A. C. D. A.; BARBOSA, A. C. C. O *Software* livre para o ensino da matemática em instituições de ensino superior - Uma tecnologia social. **Cadenos do IME: Série informática**, v. 25, p. 15-26, Julho 2008.

ROSA, J. **O ensino de Física nas Engenharias: Análise das contribuições do congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE)**. Ijuí: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, 2015.

SILVA, C. E. D. et al. **Eletromagnetismo: Fundamentos e Simulações**. São Paulo: Pearson, 2014.

SILVA, O.; LABURÚ, C. Motor elétrico de Faraday: Uma montagem para museus e laboratórios didáticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 3, p. 478-491, dez 2009.

SILVA, O.; LABURÚ, C. Uma versão compacta do motor elétrico de Faraday para demonstração em sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, p. 385-395, mar 2013.

SILVEIRA, F.; MARQUES, N. Motor elétrico de Indução: "Uma das Dez maiores invenções de todos os tempos". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 114-129, abr 2012.

SILVEIRA, F.; VARRIALE, M. O rolamento freado do magneto na rampa: Uma interessante aplicação da lei de Faraday-Lenz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, p. 4303 (1-6), 2009. ISSN 4.

SILVEIRA, M. M. et al. Centro de competência em *software* livre como ferramenta de apoio ao ensino, extensão e pesquisa no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. **IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN**, p. 968-977, 2013.

SILVEIRA, S. A. D. Inclusão digital, *software* livre e globalização contra-hegemônica. **Seminários temáticos para a 3ª Conferência Nacional de C, T & I**, p. 421-446, Junho 2005.

SOMEREN, M.; BARBARD, Y.; SANDBERG, J. **A practical guide to modelling cognitive processes**. London: Academic press, 1994.

SOUZA, B. **A teoria da mediação cognitiva**. Recife: Editora universitária UFPE, 2006.

SOUZA, B. C. D. **A Teoria da Mediação Cognitiva. Os impactos cognitivos da Hiper cultura e da Mediação Digital**. Tese em Psicologia - UFPE. Recife. 2004.

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, Novembro 2012.

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

THONG, W.; GUNSTONE, R. Some student conceptions of Electromagnetic Induction. **Research in Science Education**, p. 31-44, 2008.

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

WIEMAN, K. Grand Challenges in Science Education. **Science**, p. 292-296, 2013.

WOLFF, J. F. D. S. **Qual a mudança na estrutura cognitiva de estudantes após o uso de simulações computacionais? Uma investigação da relação entre imagens mentais e aprendizagem significativa de conceitos no campo das**

colisões mecânicas em Física. Tese em Ensino de Ciências e Matemática - ULBRA. Canoas, p. 333. 2015.

WU, H. K.; KRAJCIK, J. S.; SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: Student's use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Reserch in Science Teaching**, v. 38, p. 821-842, 2001.

WU, H. K.; SHAH, P. Exploring visuoespacial thinking in chemistry learning. **Science Education**, v. 88, p. 465-492, 2004.

YIN, R. **Estudo de caso. Planejamento e Métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2005.

YIN, R. **Case study Research: Design and methods.** Sage. Beverly Hills. 1989.

YIN, R. **Applications of case study research.** Beverly Hills: Sage , 1994.

ZUZA, K.; ALMUDI, J.; GUIASOLA, J. Dificultades de los estudiantes universitarios en el aprendizaje de la inducción electromagnética. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, p. 1-9, 2010.

ZUZA, K.; ALMUDI, J.; GUIASOLA, J. Revisión de la Investigación acerca de las ideas de los estudiantes sobre la interpretación de los fenómenos de inducción electromagnética. **Enseñanza de las Ciencias**, p. 175-196, 2012.

ZUZA, K.; ALMUDI, J.; GUIASOLA, J. University students' understanding of Electromagnetic induction. **International Journal of Science Education**, v. 35, n. 16, p. 2692-2717, 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E EXCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO: para os estudantes
(sujeitos da pesquisa)

Prezado(a) Estudante

Meu nome é Fernando Colomby Pieper, sou estudante do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, na Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, tendo como orientador o Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto. O nosso projeto de pesquisa é intitulado UM ESTUDO DO PROCESSO DE INTERNALIZAÇÃO DE CONCEITOS DE ELETROMAGNETISMO UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL TRIDIMENSIONAL e tem como objetivo investigar de que forma ocorre, o processo de mediação cognitiva dos estudantes de nível superior através das imagens, simulações mentais e *drives* quando utilizam ferramentas hiperculturais na abordagem didática de conceitos de Eletromagnetismo. Nesse sentido, inicialmente, você participará como estudante, previamente convidado(a) de entrevistas semiestruturadas a fim de identificar os conhecimentos prévios e adquiridos depois de sua participação no referido curso. As suas ações ao longo das entrevistas serão filmadas e as imagens e as cópias ficarão sob minha responsabilidade e serão utilizadas por mim e meu orientador. Esse estudo resultará na Tese de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, na Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, e os resultados serão divulgados em eventos e publicações científicas. As informações fornecidas serão mantidas em sigilo e sua identidade não será revelada em nenhuma circunstância. Você tem a liberdade de retirar o seu consentimento de participar do estudo em qualquer momento que achar oportuno, sem prejuízo, mesmo depois de ter assinado este documento. No caso de haver desistência de sua parte, poderá entrar em contato. Destacamos que sua participação não acarretará nenhum prejuízo ou dano pelo fato de colaborar, assim como não terá nenhum ganho ou benefício direto. Sendo que as informações serão utilizadas para fins acadêmicos, mantendo o sigilo e a identidade dos colaboradores voluntários dessa pesquisa. Diante do exposto, eu

_____, declaro
que fui esclarecido(a) o suficiente sobre o estudo a ser realizado e concordo em

participar. Esse documento possui duas vias, ficando uma com o colaborador voluntário e outra com o pesquisador.

_____, _____ de _____ de 20____.

Assinatura do colaborador(a)

Assinatura do pesquisador

Assinatura do Prof. Orientador

APÊNCIDE B – ATESTADO DE HORAS COMPLEMENTARES



* Credenciado pela CAPES, Portaria No 1.045, de 18 de Agosto de 2010.
Diário Oficial da União, Seção I, Dia 19 de Agosto de 2010.

ATESTADO

Atestamos, para os devidos fins, que o aluno participou do projeto de tese intitulado “UM ESTUDO DO PROCESSO DE INTERNALIZAÇÃO DE CONCEITOS DE ELETROMAGNETISMO UTILIZANDO SOFTWARES DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL TRIDIMENSIONAL - FORÇA DE LORENTZ ” contemplando o total de ... **horas** de atividades.

Canoas, ... de julho de 20...

Fernando Colomby Pieper
Orientando

Agostinho Serrano de Andrade Neto
Orientador

PPGECIM - Av. Farroupilha, 8001
Prédio 14 - Sala 338 - Bairro São José
Canoas/RS - Cep: 92425-900
Fone: (51) 3477.9278 Fax: (51) 3477.9239
E-mail: ppgecim@ulbra.br



APÊNCIDE C – PRÉ E PÓS TESTE



O USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE ELETROMAGNETISMO

Nome: _____

Curso: _____ Data: ___/___/___

1. O que você entende sobre Força de Lorentz?

(Enunciado para as questões 2 e 3).

Uma carga positiva é colocada em repouso no centro de uma região do espaço no qual há um campo elétrico uniforme tridimensional. (Um campo uniforme é aquele cuja força e direção são as mesmas em todos os pontos dentro da mesma região).

2. O que acontecerá com o movimento da carga logo após ela ser “solta” deste repouso inicial neste campo elétrico uniforme?

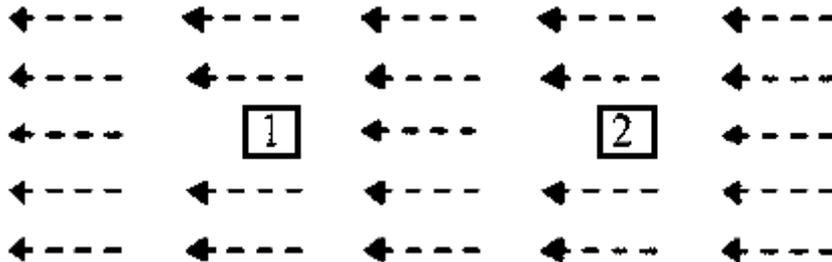
- (A) Ela irá se mover a uma velocidade constante (escalar).
- (B) Ela irá se mover a uma velocidade constante (vetorial).
- (C) Ela irá se mover a uma aceleração constante.
- (D) Ela irá se mover mudando a sua aceleração linear.
- (E) Ela irá permanecer em repouso na sua posição inicial.

3. O que acontece com a energia potencial elétrica da carga positiva, após ela ser liberada a partir do repouso neste campo elétrico uniforme?

- (A) Ela permanecerá constante, porque o campo elétrico é uniforme.
- (B) Ela permanecerá constante, porque a carga permanece em repouso.
- (C) Ela aumentará porque a carga irá mover-se na direção do campo elétrico.
- (D) Ela diminuirá porque a carga irá mover-se na direção oposta do campo elétrico.

(E) Ela irá diminuir, porque a carga irá mover-se na direção do campo elétrico.

4. Uma carga positiva pode ser colocada em um dos dois locais diferentes em uma região onde existe um campo elétrico uniforme, como mostrado abaixo.



Como as forças elétricas sobre as cargas, nas posições 1 e 2, podem ser comparadas?

- (A) A força sobre a carga é maior em 1.
- (B) A força sobre a carga é maior em 2.
- (C) A força em ambas as posições é zero.
- (D) A força em ambas as posições é a mesma, mas não é zero.
- (E) A força em ambas as posições tem a mesma magnitude, mas é em direções opostas.

5. O que acontece com uma carga positiva que é colocada em repouso em um campo magnético uniforme? (Um campo uniforme é aquele cuja força e direção são as mesmas em todos os pontos).

- (A) Move-se com uma velocidade constante uma vez que a força tem uma magnitude constante.
- (B) Move-se com uma aceleração constante uma vez que a força tem uma magnitude constante.
- (C) Move-se em um círculo a uma velocidade constante uma vez que a força é sempre perpendicular a velocidade.

(D) É acelerada em um círculo uma vez que a força é sempre perpendicular à velocidade.

(E) Ela permanece em repouso uma vez que a força e a velocidade inicial são zero.

6. Um elétron se move horizontalmente em direção a uma tela. O elétron se move ao longo do caminho que é mostrado por causa de uma força magnética causada por um campo magnético. Qual direção terá os pontos do campo magnético?

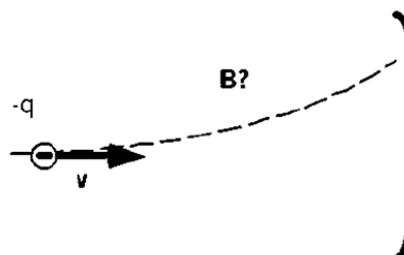
(A) no sentido da parte superior da página

(B) no sentido da parte inferior da página

(C) na página

(D) para fora da página

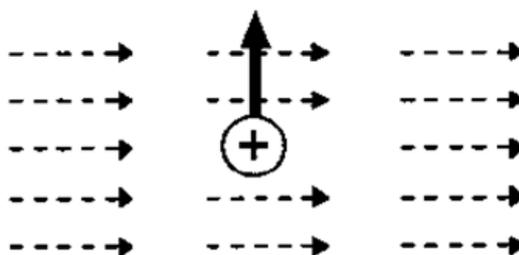
(E) O campo magnético é na direção da trajetória curva.



7. As figuras abaixo representam partículas carregadas positivamente que se deslocam no mesmo campo magnético uniforme. O campo é dirigido da esquerda para a direita. Todas as partículas têm a mesma carga e a mesma velocidade v . Enumere estas situações de acordo com as magnitudes da força exercida pelo campo na carga em movimento, a partir da maior para a menor força.

I

v



(A) I = II = III

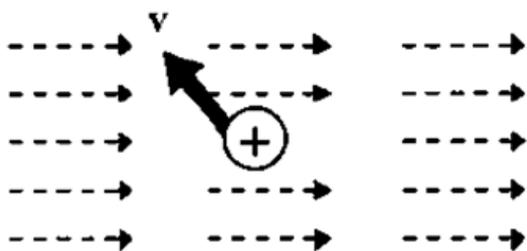
(B) III > I > II

(C) II > I > III

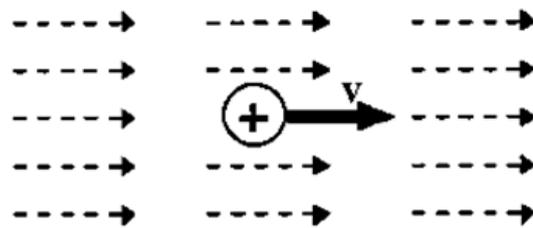
(D) I > II > III

(E) III > II > I

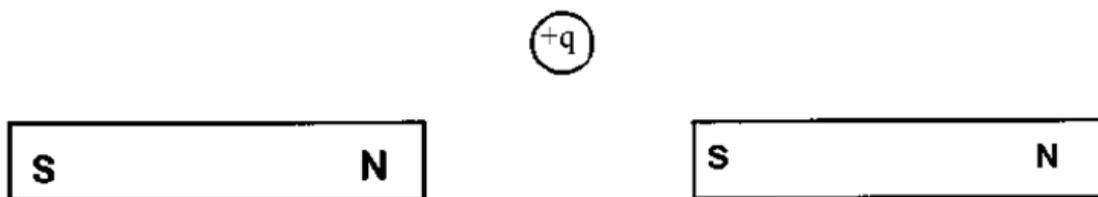
II



III



8. Uma partícula com carga positiva (+ q) está em repouso no plano entre dois ímãs de barra fixa, como mostrado abaixo. O ímã da esquerda é três vezes mais forte que o ímã à direita. Qual opção melhor representa a força magnética resultante exercida pelos ímãs sobre a partícula?



- (A) (B) (C) (D) (E) Zero

9. Escreva como se você estivesse explicando para um colega, como se dá as possíveis forças que atuam sobre uma carga elétrica. Utilize desenhos, gráficos, equações, tudo o que achares necessário.

APÊNCIDE D - ROTEIRO DE ATIVIDADES

Nome: _____ Curso: _____ Data: ____/____/____

EXPERIMENTO: FORÇA DE LORENTZ⁶⁵

Força Elétrica e Força Magnética sobre uma carga em movimento.

1. INSTRUÇÕES

Neste experimento, iremos simular a situação que envolve a força elétrica e a força magnética experimentada por uma partícula quando esta é submetida a um campo elétrico e/ou magnético. Para analisar as interações entre a partícula (carga) e estes campos, siga os passos abaixo e boa atividade!

Início:

Procure na área de trabalho (desktop), o arquivo ***ejs_users_sgeducation_lookang_Chargein3DEnBfield.jar***. Com o botão esquerdo do mouse dê dois cliques para abrir o programa. Este programa possui a tecnologia *Easy Java Simulations* (EJS), que é uma ferramenta de autoria que foi projetada especificamente para a criação de simulações interativas em Java, e esta permite rodar um aplicativo no computador sem a necessidade de instalá-lo. Por isso, em alguns casos, o java mostra uma janela de advertência que pode bloquear este aplicativo, por ele ter sido feito por um editor desconhecido, sendo assim clique em *“Eu aceito o risco e desejo executar esta aplicação”*, e o Java irá abri-lo normalmente, essa janela poderá aparecer mais de uma vez.

Logo irão aparecer duas telas sobrepostas do programa. O idioma do programa é inglês, porém todas as traduções e observações necessárias para a utilização do programa serão aqui informadas. A primeira tela a aparecer é mostrada na Figura 1. Esta tela possui duas abas e na primeira aba intitulada *“Charge in Fields”* (carga nos campos) consta a descrição geral da simulação que em uma tradução livre seria: Nesta simulação, você pode investigar uma partícula carregada, e as forças exercidas sobre essa partícula carregada por campos elétricos e/ou magnéticos. Em primeiro lugar, veja a forma como a carga se comporta quando exposta apenas a um campo elétrico. Em seguida, veja a forma como a carga se comporta quando exposta apenas a um campo magnético. Finalmente, se você quiser, ligue ambos os campos e veja o que acontece.

Esta tela poderá ser minimizada, pois na segunda aba dela, intitulada *“Activities”* (atividades) está descrito as atividades que serão realizadas e estas, juntamente com a terceira aba (0 level physics) serão detalhadas mais adiante aqui neste roteiro.

⁶⁵ Simulador disponível em: OSP - ORG (*Open Source Physics*), <<http://weelookang.blogspot.com.br/2013/12/ejs-50-simulations-recompiled.html>>. Acesso em 13 de setembro de 2016.

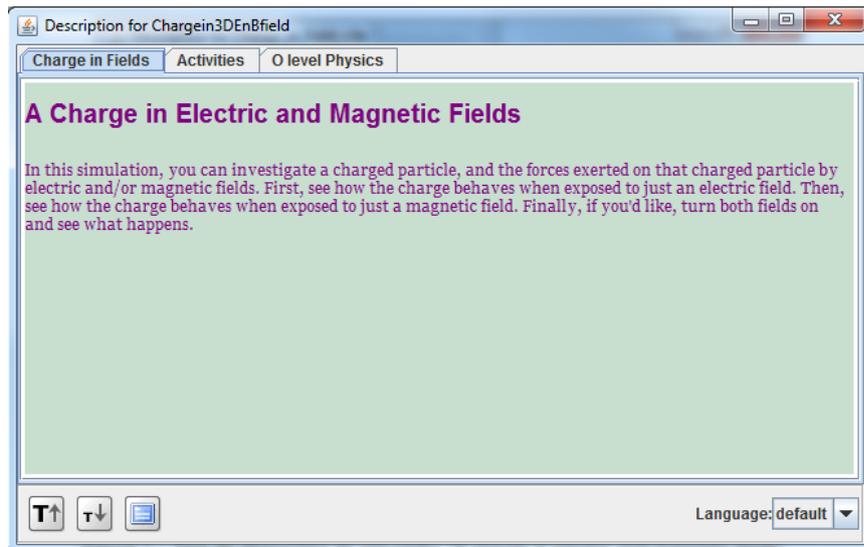


Figura 1 – Tela de descrições do Simulador “A charge in electric and magnetic fields”
(Uma carga em um campo elétrico e magnético).

A segunda tela, como pode ser vista na Figura 2, é a tela principal do simulador onde estão contidos o espaço para a visualização que se trata da interação com o programa (esquerda) e ainda o espaço dos parâmetros (direita). Estes parâmetros que serão alterados e utilizados durante a simulação.

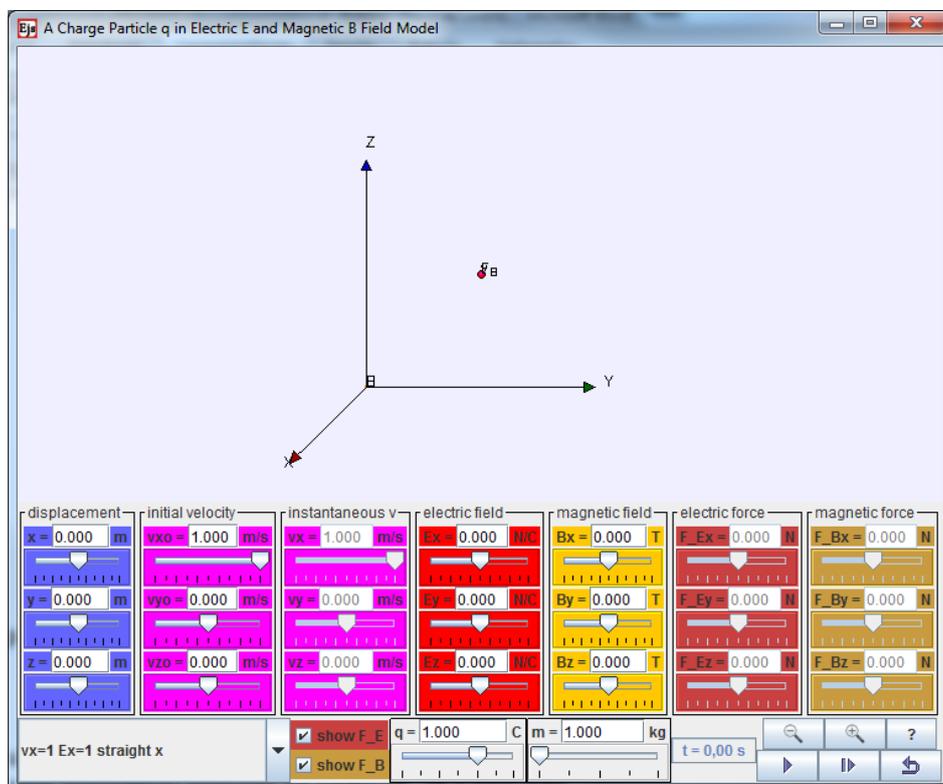


Figura 2 – Tela do Simulador “A charge in electric and magnetic fields”
(Uma carga em um campo elétrico e magnético).

Visando um melhor entendimento do Simulador foi montada a figura 3 mostrada abaixo. Esta figura é um recorte da parte de baixo da tela principal do programa onde os parâmetros deste podem ser alterados e/ou visualizados. Eles foram enumerados de I a XIII e serão explicados como segue:

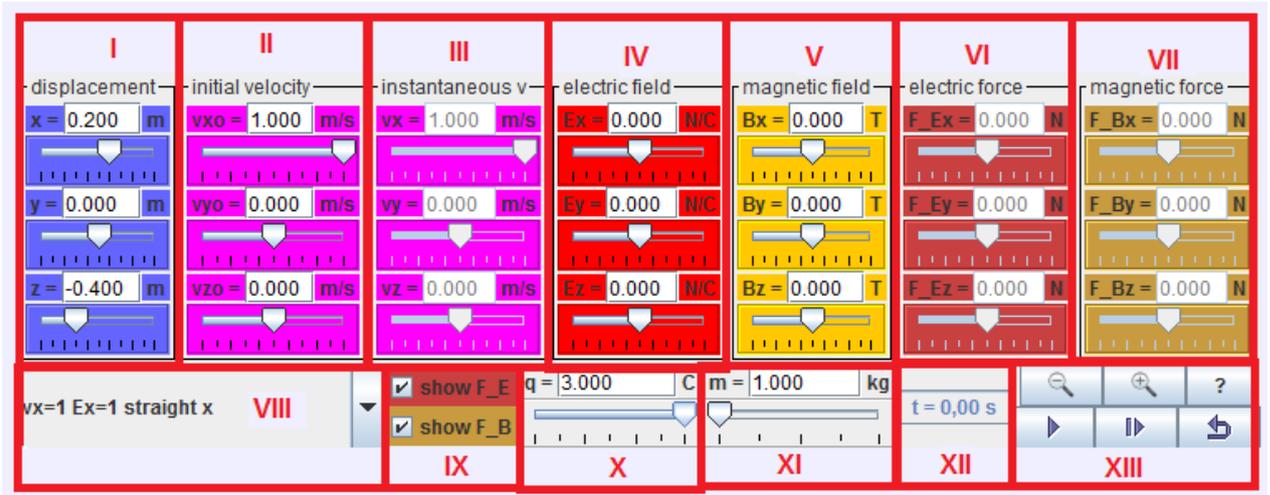


Figura 3 – Parâmetros do Simulador.

- I, deslocamento (m) inicial da carga no sentido x, y e z (variando de -1 a +1);
- II, velocidade (m/s) inicial da carga no sentido x, y, e z (variando de -1 a +1);
- III, velocidade instantânea (m/s) da carga no sentido x, y, e z (variando de -1 a +1);
- IV, intensidade do campo elétrico E (N/C) no sentido x, y, e z (variando de -5 a 5);
- V, intensidade do campo magnético B (T) no sentido x, y, e z (variando de -5 a 5);
- VI, intensidade da força elétrica F_E (N) no sentido x, y, e z;
- VII, intensidade da força magnética F_B (N) no sentido x, y, e z;
- VIII, parâmetros pré selecionados do simulador;
- IX, opção de mostrar os vetores da Força Elétrica resultante (F_E) e da Força Magnética Resultante (F_B);
- X, intensidade da carga elétrica q (variando de -3 a 3 C);
- XI, massa da carga elétrica q (variando de 1 a 5 kg);
- XII, visualização do tempo decorrido durante a simulação;
- XIII, aumentar  e diminuir  o zoom, ajuda , iniciar  e pausar a simulação, mostrar “passo a passo”  a simulação e retornar  aos parâmetros originais.

Os parâmetros I, II, IV, V, X e XI podem e serão alterados durante as simulações, já os parâmetros III, VI, e VII são somente para a sua visualização e não podem ser alterados.

2. ATIVIDADES

Oito simulações diferentes serão feitas conforme abaixo descritas. Primeiro pede-se que você, tente prever o que irá ocorrer antes da simulação. Em seguida, a simulação pode ser efetuada, observando o que acontece e registrando estes dois momentos. Finalmente, será comparado o que você esperava que fosse acontecer com o que foi simulado, tentando explicar **diferenças entre o observado e o previsto**, caso exista diferenças. Siga esta técnica, para aproveitar melhor o resultado do seu trabalho. *Não tente simular o comportamento antes de ter refletido sobre o que irá acontecer e ter registrado neste guia a sua previsão.*

Para responder os itens abaixo, utilize quaisquer fórmulas ou conceitos que desejar e desenhe nos retângulos disponíveis a representação ou qualquer explicação, se assim achar necessário.

Para cada simulação os parâmetros da velocidade inicial da carga (II), do campo elétrico (IV) e do campo magnético (V) serão alterados. E sempre que o aluno achar necessário ele poderá iniciar e pausar a simulação ou reseta-la (XIII). A cor da carga pode mudar sendo que a cor vermelha significa que a carga é positiva e a cor azul significa que a carga é negativa.

2.1 PRIMEIRA ATIVIDADE – CAMPO ELÉTRICO – VELOCIDADE INICIAL ZERO

Altere os parâmetros do Simulador colocando a velocidade inicial no sentido do eixo x (V_{x0} , parâmetro II) em 0, e o valor do Campo Elétrico no sentido do eixo x (E_x , parâmetro IV) em 1N/C.

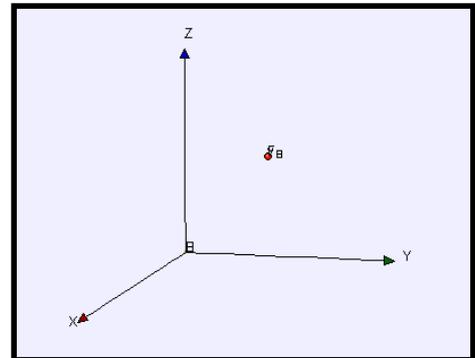
ATENÇÃO! Antes de simular responda a questão abaixo.

Previsão:

O que você acha que irá acontecer no caso exposto pelo simulador (com os parâmetros alterados) quando a simulação iniciar?

Justifique sua resposta.

Na figura ao lado, desenhe o possível vetor resultante das forças que agem sob a carga.



Simulação:

Agora inicie a simulação  e se quiser, clique no botão , que mostra o passo a passo do resultado.

O que aconteceu com a carga, ela se movimentou, em qual sentido, por quê?

Qual foi o valor e o sentido da força(s) resultante, para um determinado tempo (1 segundo), que atuaram sob a carga? Explique!

Comparação:

O que você previu e o que aconteceu na simulação diferiram em algum momento?

Por quê?

Compare o seu vetor resultante com vetor resultante que apareceu na simulação, explicando as possíveis diferenças.



2.2 SEGUNDA ATIVIDADE – CAMPO ELÉTRICO – VELOCIDADE PARALELA AO CAMPO

Altere os parâmetros do simulador colocando a velocidade inicial no sentido do eixo x (V_{x0} , parâmetro II) em 1 m/s, e o valor do Campo Elétrico no sentido do eixo x (E_x , parâmetro IV) em 1 N/C.

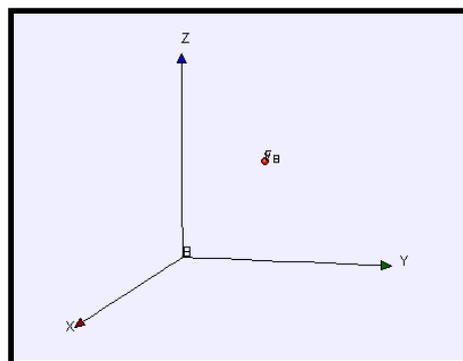
ATENÇÃO! Antes de simular responda a questão abaixo.

Previsão:

O que você acha que irá acontecer no caso exposto pelo simulador (com os parâmetros alterados) quando a simulação iniciar?

Justifique sua resposta.

Na figura ao lado, desenhe o possível vetor resultante das forças que agem sob a carga.



Simulação:

Agora inicie a simulação  e se quiser, clique no botão , que mostra o passo a passo do resultado.

O que aconteceu com a carga, ela se movimentou, em qual sentido, por quê?

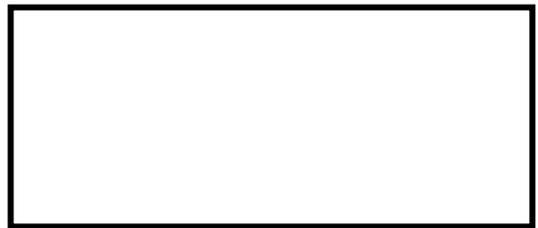
Qual foi o valor e o sentido da força(s) resultante, para um determinado tempo (1 segundo), que atuaram sob a carga? Explique!

Comparação:

O que você previu e o que aconteceu na simulação diferiram em algum momento?

Por quê?

Compare o seu vetor resultante com vetor resultante que apareceu na simulação, explicando as possíveis diferenças.



2.3 TERCEIRA ATIVIDADE – CAMPO ELÉTRICO – VELOCIDADE PERPENDICULAR AO CAMPO ELETRICO

Altere os parâmetros do simulador colocando a velocidade inicial no sentido do eixo x (V_x , parâmetro II) em 1 m/s, e o valor do Campo Elétrico no sentido do eixo y (E_y , parâmetro IV) em 1N/C.

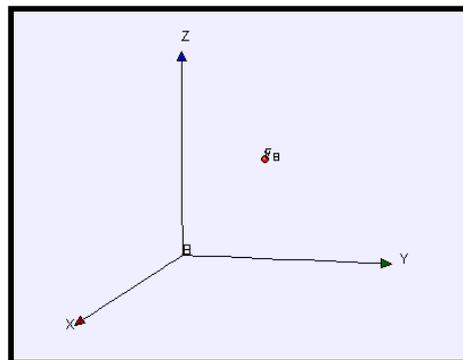
ATENÇÃO! Antes de simular responda a questão abaixo.

Previsão:

O que você acha que irá acontecer no caso exposto pelo simulador (com os parâmetros alterados) quando a simulação iniciar?

Justifique sua resposta.

Na figura ao lado, desenhe o possível vetor resultante das forças que agem sob a carga.



Simulação:

Agora inicie a simulação  e se quiser, clique no botão , que mostra o passo a passo do resultado.

O que aconteceu com a carga, ela se movimentou, em qual sentido, por quê?

Qual foi o valor e o sentido da força(s) resultante, para um determinado tempo (1 segundo), que atuaram sob a carga? Explique!

Comparação:

O que você previu e o que aconteceu na simulação diferiram em algum momento?

Por quê?

Compare o seu vetor resultante com vetor resultante que apareceu na simulação, explicando as possíveis diferenças.



2.4 QUARTA ATIVIDADE – CAMPO ELÉTRICO – VELOCIDADE ORTOGONAL AO CAMPO ELETRICO

Altere os parâmetros do simulador colocando a velocidade inicial no sentido do eixo x (V_{x0} , parâmetro II) em 1 m/s, e o valor do Campo Elétrico no sentido do eixo x (E_x , parâmetro IV) em 1N/C, e o parâmetro do eixo y (E_y , parâmetro IV) também em 1N/C.

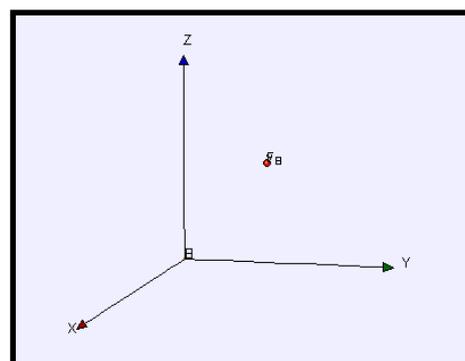
ATENÇÃO! Antes de simular responda a questão abaixo.

Previsão:

O que você acha que irá acontecer no caso exposto pelo simulador (com os parâmetros alterados) quando a simulação iniciar?

Justifique sua resposta.

Na figura ao lado, desenhe o possível vetor resultante das forças que agem sob a carga.



Simulação:

Agora inicie a simulação  e se quiser, clique no botão , que mostra o passo a passo do resultado.

O que aconteceu com a carga, ela se movimentou, em qual sentido, por quê?

Qual foi o valor e o sentido da força(s) resultante, para um determinado tempo (1 segundo), que atuaram sob a carga? Explique!

Comparação:

O que você previu e o que aconteceu na simulação diferiram em algum momento?

Por quê?

Compare o seu vetor resultante com vetor resultante que apareceu na simulação, explicando as possíveis diferenças.



2.5 QUINTA ATIVIDADE – CAMPO MAGNÉTICO – VELOCIDADE INICIAL ZERO

Altere os parâmetros do simulador colocando a velocidade inicial no sentido do eixo x (V_{x0} , parâmetro II) em 0, e o valor do Campo Magnético no sentido do eixo x (B_x , parâmetro V) em 1T.

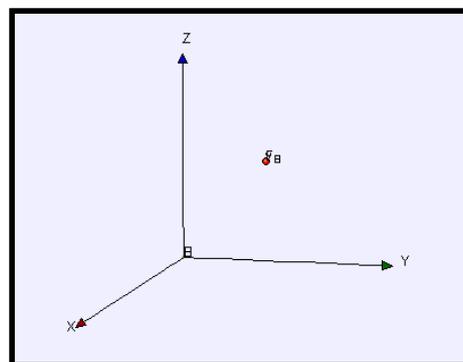
ATENÇÃO! Antes de simular responda a questão abaixo.

Previsão:

O que você acha que irá acontecer no caso exposto pelo simulador (com os parâmetros alterados) quando a simulação iniciar?

Justifique sua resposta.

Na figura ao lado, desenhe o possível vetor resultante das forças que agem sob a carga.



Simulação:

Agora inicie a simulação  e se quiser, clique no botão , que mostra o passo a passo do resultado.

O que aconteceu com a carga, ela se movimentou, em qual sentido, por quê?

Qual foi o valor e o sentido da força(s) resultante, para um determinado tempo (1 segundo), que atuaram sob a carga? Explique!

Comparação:

O que você previu e o que aconteceu na simulação diferiram em algum momento?

Por quê?

Compare o seu vetor resultante com vetor resultante que apareceu na simulação, explicando as possíveis diferenças.



2.6 SEXTA ATIVIDADE – CAMPO MAGNÉTICO – VELOCIDADE PARALELA AO CAMPO

Altere os parâmetros do simulador colocando a velocidade inicial no sentido do eixo x (V_x , parâmetro II) em 1m/s, e o valor do Campo Magnético no sentido do eixo x (B_x , parâmetro V) em 1T.

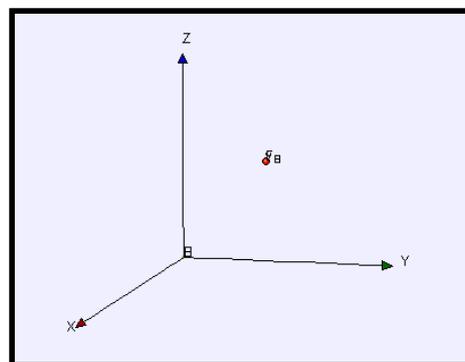
ATENÇÃO! Antes de simular responda a questão abaixo.

Previsão:

O que você acha que irá acontecer no caso exposto pelo simulador (com os parâmetros alterados) quando a simulação iniciar?

Justifique sua resposta.

Na figura ao lado, desenhe o possível vetor resultante das forças que agem sob a carga.



Simulação:

Agora inicie a simulação  e se quiser, clique no botão , que mostra o passo a passo do resultado.

O que aconteceu com a carga, ela se movimentou, em qual sentido, por quê?

Qual foi o valor e o sentido da força(s) resultante, para um determinado tempo (1 segundo), que atuaram sob a carga? Explique!

Comparação:

O que você previu e o que aconteceu na simulação diferiram em algum momento?

Por quê?

Compare o seu vetor resultante com vetor resultante que apareceu na simulação, explicando as possíveis diferenças.



2.7 SEXTA ATIVIDADE – CAMPO MAGNÉTICO – VELOCIDADE PERPENDICULAR AO CAMPO

Altere os parâmetros do simulador colocando a velocidade inicial no sentido do eixo x (V_x , parâmetro II) em 1m/s, e o valor do Campo Magnético no sentido do eixo y (B_y , parâmetro V) em 1T.

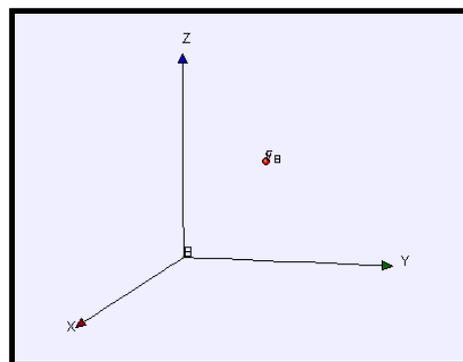
ATENÇÃO! Antes de simular responda a questão abaixo.

Previsão:

O que você acha que irá acontecer no caso exposto pelo simulador (com os parâmetros alterados) quando a simulação iniciar?

Justifique sua resposta.

Na figura ao lado, desenhe o possível vetor resultante das forças que agem sob a carga.



Simulação:

Agora inicie a simulação  e se quiser, clique no botão , que mostra o passo a passo do resultado.

O que aconteceu com a carga, ela se movimentou, em qual sentido, por quê?

Qual foi o valor e o sentido da força(s) resultante, para um determinado tempo (1 segundo), que atuaram sob a carga? Explique!

Comparação:

O que você previu e o que aconteceu na simulação diferiram em algum momento?

Por quê?

Compare o seu vetor resultante com vetor resultante que apareceu na simulação, explicando as possíveis diferenças.



2.8 OITAVA ATIVIDADE – CAMPO MAGNÉTICO – VELOCIDADE ORTOGONAL AO CAMPO

Altere os parâmetros do simulador colocando a velocidade inicial no sentido do eixo x (V_x , parâmetro II) em 1m/s, e o valor do Campo Magnético no sentido do eixo x (B_x , parâmetro V) em 1T e no sentido do eixo y (B_y , parâmetro V) também em 1T.

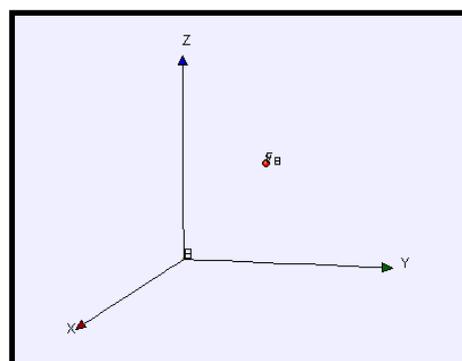
ATENÇÃO! Antes de simular responda a questão abaixo.

Previsão:

O que você acha que irá acontecer no caso exposto pelo simulador (com os parâmetros alterados) quando a simulação iniciar?

Justifique sua resposta.

Na figura ao lado, desenhe o possível vetor resultante das forças que agem sob a carga.



Simulação:

Agora inicie a simulação  e se quiser, clique no botão , que mostra o passo a passo do resultado.

O que aconteceu com a carga, ela se movimentou, em qual sentido, por quê?
Qual foi o valor e o sentido da força(s) resultante, para um determinado tempo (1 segundo), que atuaram sob a carga? Explique!

Comparação:

O que você previu e o que aconteceu na simulação diferiram em algum momento?

Por quê?

Compare o seu vetor resultante com vetor resultante que apareceu na simulação, explicando as possíveis diferenças.



APÊNDICE E – GESTOS UNIVERSAIS

Gestos universais:

#3DMD – Três dedos da mão direita. Os três dedos da mão direita, polegar o indicador e o dedo médio, estão posicionados no ar formando um ângulo de 90 graus entre si. Imagem estática.

#3DMDC – Três dedos da mão direita em círculo. Os três dedos da mão direita, polegar o indicador e o dedo médio, estão posicionados no ar formando um ângulo de 90 graus entre si e a mão faz um movimento de círculo no ar. Imagem dinâmica.

#3DME – Três dedos da mão esquerda. Os três dedos da mão esquerda, polegar o indicador e o dedo médio, estão posicionados no ar formando um ângulo de 90 graus entre si. Imagem estática.

#PMDE – Palma da mão direita esticada. A mão direita está esticada com a palma da mão virada para baixo e com os quatro dedos bem juntos e o polegar a noventa graus deles. Imagem estática.

#RMDFC – Regra da mão direita aplicada a um Fio condutor. O estudante levanta o dedo polegar direito no ar, formando assim um eixo de referência e, de maneira côncava utiliza os outros quatro dedos ao redor deste. Imagem dinâmica.

#RMD – Regra da mão direita para a força magnética que atua sobre uma carga. O estudante abre a mão direita deixando o dedo polegar formar um ângulo de noventa graus com os outros quatro dedos. O dedo polegar pode estar para cima ou para baixo. Imagem estática.

#RMDCI – Regra da mão direita aplicada a um movimento circular. O estudante levanta o dedo polegar direito no ar, formando assim um eixo de referência e, de maneira côncava utiliza os outros quatro dedos ao redor deste movimentando-os na forma de um círculo. Imagem dinâmica.

#IME – Indicador da mão esquerda. A mão esquerda está fechada e tem somente o indicador apontando para o papel e fazendo um leve movimento para frente. Imagem dinâmica.

#IMD – Indicador da mão direita. A mão direita está fechada e tem somente o indicador apontando para o papel e fazendo um leve movimento para frente. Imagem dinâmica.

#MAA – Mãos abertas no ar. As mãos estão abertas no ar uma de frente para a outra e constantemente movimentam-se uma na frente da outra e também movimentando um pouco os dedos. Imagem dinâmica.

#MAD – Mão aberta direita. A mão direita está aberta sobre a mesa e faz um movimento de deslize sob a mesma. Imagem dinâmica.

#MAE – Mão aberta esquerda. A mão esquerda está aberta sobre a mesa e faz um movimento de deslize sob a mesma. Imagem dinâmica.

#MC – Movimento de círculo. A mão direita está fechada contento somente o dedo indicador apontado para a frente do indivíduo e a mão faz um movimento de círculo no ar. Imagem dinâmica.

#MCMD – Movimento de círculo com a mão direita. A mão direita está semiaberta e fazendo um movimento de círculo no ar. Imagem dinâmica.

#MCME – Movimento de círculo com a mão esquerda. A mão esquerda está semiaberta e fazendo um movimento de círculo no ar. Imagem dinâmica.

#MDMD – Mão direita se movimentando para a direita. A mão direita faz um movimento para a direita. Imagem dinâmica.

#MEP – Mão esquerda pegando. A mão esquerda está erguida e está fazendo um movimento como se estivesse tentando pegar algo no ar. Imagem dinâmica.

#SCAMD – Soltando a carga no ar mão direita. A mão direita está no ar com todos os dedos juntos direcionados para baixo. Imagem estática.

#SCAME – Soltando a carga no ar mão esquerda. A mão esquerda está no ar com todos os dedos juntos direcionados para baixo. Imagem estática.

APÊNDICE F – GESTOS INDIVIDUAIS

Gestos Individuais:

#2MMD – Duas mãos se movimentando para a direita. As duas mãos estão no ar e se movimento juntas para a direita da pessoa. Imagem Dinâmica.

#AC – Apontar para o computador. Alguma das mãos faz um movimento para indicar onde está o computador utilizado durante a simulação. Imagem dinâmica.

#IMDAD – Indicador da mão direita no ar para direita. A mão direita está fechada e tem somente o indicador apontando para a frente da pessoa e se movimentando para a direita. Imagem dinâmica.

#IMDA – Indicador da mão direita no ar. A mão direita está fechada e tem somente o indicador apontando para a frente da pessoa. Imagem estática.

#IMDC – Indicador da mão forma um círculo. A mão direita está fechada e tem somente o indicador apontando para o papel e fazendo um movimento circular. Imagem dinâmica.

#LIV – Livros. Mão esquerda aberta e parada com a palma da mão virada para cima, e a mão esquerda se movimentando acima desta também com a palma virada para cima. Imagem dinâmica.

#MDA – Mão direita no ar. A mão direita está esticada no ar e faz um movimento dinâmico para frente. Imagem dinâmica.

#MDP – Mão direita ao peito. Movimento de trazer a mão direita, que está afastada do corpo, junto ao peito. Imagem dinâmica.

#MS – Mãos separadas. As duas mãos estão separadas apoiadas sobre a mesa como se estivesse separando dois objetos bem diferentes.

#PMDEJ – Palma da mão direita esticada junto com a mão esquerda. A mão direita está esticada com a palma da mão virada para baixo e com os quatro dedos bem juntos e o polegar a noventa graus deles e com a mão esquerda segurando os quatro dedos da mão direita. Imagem estática.

ANEXOS

ANEXO A – CRONOGRAMA DA DISCIPLINA PHYSICS – SECONDARY:
CURRICULUM AND PEDAGOGY

Tentative Course Outline (Subject to change)

Week 1, September 4-10: Conceptions of physics teaching and learning (Introduction)

Guiding questions and concepts

How is knowledge acquired? What does it mean to learn physics? How is learning physics different from learning other subjects?

Key words: Constructivism; Alternative frameworks; conceptual change paradigm, prior knowledge

Homework and Readings

1. PeerWise Cycle 1, Week 1 (Author at least six questions and submit to PeerWise)
 - a. Create a PeerWise account.
 - b. Explore PeerWise; create and upload at least 6 multiple choice question on any physics topic.
2. Adams et al., 2006; Bransford, Brown, & Cocking, 2002
3. How to design effective conceptual physics questions: (Beatty et al., 2008; Beatty, Gerace, Leonard, & Dufrense, 2006).
4. A Private Universe Project: <http://www.learner.org/teacherslab/pup/> - A very revealing investigation of how students learn science... and how we teach it...
5. Force Concept Inventory (Hake, 1998; Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992).

Recommended resources:

1. Database of conceptual questions for BC math and science curriculum (Math & Science Teaching and Learning through Technology – MSTLTT): <http://scienceres-edcp-educ.sites.olt.ubc.ca/>
2. Database of resources for physics and astronomy teaching: <http://www.compadre.org/>
3. The Physics Hypertextbook: <http://physics.info/> .

Week 2, September 11 - 17: Problem Solving 1 (1-D Kinematics) – Problem solving and labs

Guiding questions and concepts

How can we help our students construct a meaningful description of 1-D motion?

Key words and concepts: Deriving algebraic, graphical & verbal representations of 1-D motion: $x(t)$, $v(t)$, $a(t)$, rate of change, area under the graph, dimensional analysis.

Homework and Readings

1. PeerWise Cycle 1, Week 2 (Answer at least 10 questions designed by your peers, provide comments on at least five of the questions you answered)
2. Explore Tracker Video Analysis web site: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/> .
3. Explore PhET: <http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics/motion> (The Moving Man).

Recommended resources:

1. A useful paper about motion game: (Schuster, Undreiu, Adams, Brookes, & Milner-Bolotin, 2009).
2. Introduction to Video Analysis: (Antimirova & Milner-Bolotin, 2009).
3. Tracker Video Analysis and Modeling Tool (free) resource: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>

4. LivePhoto Physics: <http://livephoto.rit.edu/> .

Week 3, September 18 - 24 Problem Solving (1-D & 2-D Kinematics)

Guiding questions and concepts

How can we help our students construct a meaningful description of 2-D motion? What are conceptual difficulties in understanding 2-D motion?
Key words and concepts: Producing and interpreting 2-D motion as a superposition of two 1-D motions, deriving algebraic, graphical and verbal representations of 2-D motion. Distinguishing between a trajectory and time graphs. Discussion of concepts embedded in previous labs, Video Analysis, Concept Maps & Curriculum (IRP's).

Homework and Readings:

1. PeerWise Cycle 2, Week 3 (Review all relevant comments on PeerWise and respond when applicable, modify at least 3 of your questions to address the comments, author at least 3 additional questions)
2. Review 2-D motion using a Physics 12 or an introductory college textbook.
3. Explore Logger Pro VideoAnalysis (www.vernier.com) [We will share the software with you]
4. Explore PhET: <http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics/motion> (Projectile motion).

Recommended resources:

1. Juggler: <http://livephoto.rit.edu/LPVideos/jugg/>

Week 4, September 25 – October 1: Problem Solving (Introduction to dynamics – Newton's laws)

Guiding questions and concepts

What are student conceptual difficulties with understanding the concepts of force, net force, inertia, acceleration as a result of unbalanced force? What are conceptual difficulties in understanding Newton's 3rd law? What is Newton's 1st law important? How do we link what we learn in the classroom to students' everyday lives?
Key words and concepts: Newton's laws, net force, acceleration, normal force, forces of friction (static, kinetic), force of tension.
 Discussion of concepts embedded in previous labs, Curriculum (IRP's), field trip debrief.

Homework and Readings:

1. PeerWise Cycle 2, Week 4 (answer at least 10 questions designed by peers, provide meaningful comments to at least 5 questions you answered).
2. Review Dynamics using a Physics 12 or an introductory college
3. Explore PhET: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/forces-1d> (Forces in 1-D, Friction, Lunar Lander).

Recommended resources:

1. http://www.flaguide.org/tools/diagnostic/force_concept_inventory.php
2. An "Obsession with g" paper by Nashon and Anderson (Samson Madera Nashon & Anderson, 2004).

Week 5, October 2 – 8: Teaching Approaches & Strategies (Newton’s Laws)

Guiding questions and concepts

How do we promote active learning in a physics classroom? How do we incorporate active learning into a unit? How do we balance student-centered and teacher-centered activities? What is the role of demonstrations in a physics classroom?
Key words and concepts: Instructional models: Inquiry-based physics teaching; Interactive Lecture Demonstrations; Interactive Lecture Experiments; designing educational materials for active learning; physics demonstrations.

In class activities:

1. Newton’s 3rd law activity
2. We will begin working on your unit planning.

Homework and Readings:

1. PeerWise Cycle 2, Week 3
2. Learn about Interactive Lecture Demonstrations (ILD) (Sokoloff & Thornton, 2004)
3. Learn about Interactive Lecture Experiments (ILE)(M. Milner-Bolotin, Kotlicki, & Rieger, 2007; Moll & Milner-Bolotin, 2009)
4. Prepare 1 physics demonstration that you would like to share with the group. Make sure you think of where this demonstration fits into the curriculum; how to engage us; what concept this demonstration will help us understand. How will your students be engaged in this demonstration? The paper by Crouch (below) will help you think of your demonstration.
5. Think what section of the IRP you would like to work on for your unit plan – you are welcome to discuss it with me. It might be helpful to talk about it with your School Advisor (you can e-mail them and ask).

Recommended resources:

I recommend you to watch two very inspirational videos by leading physics educators of our time:

1. A Harvard Physics Professor - Eric Mazur: Mazur, E. (Producer). (2010, February 24, 2011) [Confessions of a Converted Lecturer](http://pirsa.org/10110081/). (<http://pirsa.org/10110081/>)
2. An AAPT address by the recipient of 2014 Milliken Award by the American Association of Physics Teachers, Eugenia Etkina [“Students of physics: listeners, observers, or collaborative participants?”](http://mediasite.uvs.umn.edu/Mediasite/Viewer/?peid=1002dbb08e00442eb681249073f09e1e)
<http://mediasite.uvs.umn.edu/Mediasite/Viewer/?peid=1002dbb08e00442eb681249073f09e1e>

Week 6, October 9 - 15: Peer Instruction and designing a student-centered lesson (Circular Motion & Gravitation)

Guiding questions and concepts

What does it mean to design inquiry-based physics lesson? How do we incorporate active learning into a lesson without sacrificing the material we have to discuss? How do we balance student-centered and teacher-centered activities? How do we monitor conceptual understanding? How do we teach circular motion? How do we design effective conceptual questions to monitor student understanding?

Key words and concepts: Peer Instruction; designing effective conceptual questions; low-tech and hi-tech Peer Instruction pedagogy; Socratic pedagogy; formative assessment (assessment for learning); circular motion – centripetal acceleration; uniform and non-uniform circular motion; weightlessness and apparent weight.

In class activities:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Circular motion activity 2. We will begin working on your lesson planning.
<p>Homework and Readings:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. PeerWise Cycle 2, Week 4 2. Think what lesson plan you would like to work on – you are asked to discuss it with me. 3. Read the papers mentioned below and think how they apply to your unit and lesson. <p>Recommended resources:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Explore PhET: http://phet.colorado.edu/en/simulation/my-solar-system (My solar system). 2. A very brief paper on effective use of clickers: (Marina Milner-Bolotin, 2004) 3. Our database of physics conceptual questions: http://scienes-edcp-educ.sites.olt.ubc.ca/ . 4. A paper on the concept of apparent weight, assessment and sensors: (Milner-Bolotin & Moll, 2008). 	
Weeks 7 & 8, October 16-29: Teaching Approaches & Strategies (Laws of energy and momentum conservation) – Practicum prep and mini-teaching	
Guiding questions and concepts	<p>Why laws of conservations are so important in physics? How do we represent conservation laws? How are the laws of momentum conservation different from the laws of energy conservation? How do we teach students to use them in problem solving?</p> <p>Key words and concepts: Providing useful feedback on lessons (discussing UBC lesson feedback forms); Reform Teaching Observation Protocol (RTOP) (MacIsaac, 2011; MacIsaac & Falconer, 2002); Reflective science teacher; laws of momentum and energy conservation; energy bar charts; physics vocabulary.</p>
In class activities:	Peer teaching: Lesson presentation 1
<p>Homework and Readings:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. PeerWise Cycle 2, Week 3 and Week 4 2. Continue reading and learning and preparing your lesson and unit plans. Don't hesitate to visit me during my office hours or make an appointment with me. 3. Review Energy and Momentum in a Physics 12 or an introductory college textbook 4. Explore PhET: http://phet.colorado.edu/en/simulation/energy-skate-park-basics (Energy Skate Park). <p>Recommended resources:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Visit www.compadre.org and find a resource that you like and share it with the class. 	
Week 9, October 30- Teaching Approaches and Strategies (Exploring electric circuits). Using simulations and virtual environments in science teaching (PhET – DC Circuits)	
Guiding questions and concepts	<p>What are the stumbling blocks for the students in learning about electric current and electric circuits? What are the common misconceptions? How do we help students to build a physically correct understanding? What are the teaching strategies? How do we teach microscopic phenomena that students cannot observe directly?</p> <p>Key words and concepts: Electric vocabulary; series and parallel circuits; current; voltage; resistance; equivalent resistance; laws of conservation applied to circuits.</p>

In class activities:	Peer teaching: Lesson presentation 2, practicum debrief
<p>Homework and Readings:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Continue reading and learning and preparing your lesson and unit plans. Don't hesitate to visit me during my office hours or make an appointment with me. 2. PeerWise Cycle 2, Week 3 3. Read carefully at least 2 resources mentioned below and explore PhET sims before coming to class. 4. Review E&M sections in a Physics 12 or an introductory college textbook. <p>Recommended resources:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Explore PhET: http://phet.colorado.edu/en/simulation/circuit-construction-kit-dc (Circuit Construction Kit – DC Circuits only). 2. Physics Ranking Tasks [I can share them with you in class] 3. TEDEd: Excellent resources for learning about the history of physics electric vocabulary: http://www.youtube.com/watch?v=MBRTR2dlwvA&feature=youtu.be 4. Explore circuits conceptual questions in the MSTLTT resource: http://scienceres-edcp-educ.sites.olt.ubc.ca/secondary/physics/circuits/ 	
<p>Week 10, November 6-12: Assessment and Evaluation in Physics Teaching (Exploring electro-magnetic phenomena)</p>	
<p>Guiding questions and concepts</p>	<p>How do we evaluate student progress in a way that will help them to deepen their understanding? What are common difficulties students encounter while learning about E&M phenomena? How do we help students to build a physically correct understanding? What are the effective teaching strategies? How do help students understand the connections between Electricity and Magnetism? How do we incorporate the history and philosophy of science in our teaching?</p> <p>Key words and concepts: Electric vocabulary; the concept of magnetic field; magnetic force; trajectories of particles moving inside magnetic field; particles moving inside cross magnetic and electric fields – conceptual understanding; energy stored in magnetic field; applications of E&M to everyday life.</p>
In class activities:	Peer teaching: Lesson presentation 3
<p>Homework and Readings:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Continue reading and learning and preparing your lesson and unit plans. Don't hesitate to visit me during my office hours or make an appointment. 2. PeerWise Cycle 2, Week 4 3. Review E&M sections in a Physics 12 or an introductory college textbook. <p>Recommended resources:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Explore PhET: http://phet.colorado.edu/en/simulation/faraday (In Faraday's Lab). 2. MSTLTT Database: http://scienceres-edcp-educ.sites.olt.ubc.ca/secondary/physics/electromagnetism/ . 	

Week 11, November 27 – December 3: Short Practicum debrief Teaching Approaches & Strategies (Geometrical and Wave Optics)	
Guiding questions and concepts	<p>Debriefing Practicum Experiences: What did we learn? How should we prepare for the long practicum? How should we interact with our SA's and with the students? What will be our challenges?</p> <p>How do we know we are asking effective physics questions?</p> <p>What are common student difficulties with geometrical and wave optics? How do we help students to build a deep conceptual understanding? What are effective teaching strategies? How do we help students to understand the connections between geometrical and wave optics (wave-particle duality)?</p> <p>Key words and concepts: Concept of a light ray; reflection and refraction; creation of virtual and real images; operation of mirrors, prisms and lenses. Concepts of wave optics – electro-magnetic spectrum; wave frequency, wavelength; longitudinal and transverse waves; oscillations.</p>
In class activities:	Peer teaching: Lesson presentation 4, optics labs
<p>Homework and Readings:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Continue reading and learning and modifying your lesson and unit plans based on the feedback you have received. Don't hesitate to visit me during my office hours or make an appointment. 2. PeerWise Cycle 2, Week 3 <p>Recommended resources:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Explore PhET: http://phet.colorado.edu/en/simulation/geometric-optics 2. Explore PhET: http://phet.colorado.edu/en/simulation/bending-light 	
Weeks 12, December 4 – 8: Teaching Approaches & Strategies (Modern Physics) Course summary and reflection – LAST WEEK	
Guiding questions and concepts	<p>How does our understanding of the structure of matter and the universe developed over time? What does it tell us about the scientific method? How do we know what we know?</p> <p>Women in science: discovering women who contributed to 20th and 21st century physics.</p> <p>What are the major events of the 20th century that shows the interconnections between science and society? What is their impact? The moral dilemma of scientist-citizen?</p> <p>How do we introduce modern physics to grade 11-12 students?</p> <p>Key words and concepts: The structure of the atom (historical development – from Bohr to Quantum Mechanics), relativity, quantum mechanics, the philosophical and historical developments of quantum mechanics, wave-particle duality, modern understanding of the structure of the universe and recent developments and discoveries, Canadian contributions.</p>
In class activities:	Peer teaching: Lesson presentation 5
<p>Homework and Readings:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Continue reading and learning and modifying your lesson and unit plans based on the feedback you have received. Don't hesitate to visit me during my office hours or make an appointment. 	

2. PeerWise Cycle 2, Week 4

Recommended resources:

1. On The Neutron Trail: <http://neutrontrail.com/olivia-fermi-on-the-neutron-trail/> (Enrico Fermi's granddaughter journey – discovering his legacy and its impact)
2. Lise Meitner: <http://www.sdsc.edu/ScienceWomen/meitner.html>
3. “Copenhagen” – a play by Michael Frayn [http://en.wikipedia.org/wiki/Copenhagen_\(play\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Copenhagen_(play)) (<https://www.youtube.com/watch?v=4hGAq2kc6u0>) – see <http://www.imdb.com/title/tt0340057/>

The last week of classes will be devoted to discussing various topics of your interest, micro-teaching, and helping you prepare for your long practicum.

Course Assignments at a Glance:

- A. **Active course participation (including your participation in the Family Mathematics and Science Day (FMSD) on Saturday, November 4th, 2017** – is required for passing the course.
- B. **Microteaching – 20%** (every TC will have to present 4 microteaching lessons during the term – we will discuss when they will be presented at the beginning of the term)
- C. **Feedback on peers' microteaching – 10%** (every TC will have to provide detailed feedback to 4 peers' microteaching lessons of using CLAS system - <https://clas.sites.olt.ubc.ca/>)
- D. **Physics Unit and Lesson Plan – 25%** (November 12th)
- E. **Physics Lesson Play – 25%** (November 30th)
- F. PeerWise activities over the entire term – **20%** (December 11th)

Course

Assignments:

