

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

UMA INVESTIGAÇÃO ENTRE OS MECANISMOS  
EXTERNOS DE MEDIAÇÃO E SITUAÇÕES-PROBLEMA DE  
ELETROSTÁTICA, EM UMA DISCIPLINA DE FÍSICA GERAL  
EM NÍVEL UNIVERSITÁRIO

GRACIELA PAZ MEGGIOLARO



Canoas, 2019

**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**

PRÓ-REITORIA ACADÊMICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E

MATEMÁTICA



**GRACIELA PAZ MEGGIOLARO**

**UMA INVESTIGAÇÃO ENTRE OS MECANISMOS EXTERNOS DE  
MEDIAÇÃO E SITUAÇÕES-PROBLEMA DE ELETROSTÁTICA, EM  
UMA DISCIPLINA DE FÍSICA GERAL EM NÍVEL UNIVERSITÁRIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Ensino de Ciências e Matemática da Universidade  
Luterana do Brasil para obtenção do título de Doutora  
em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto

CANOAS, 2019.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

M497i Meggiolaro, Graciela Paz.

Uma investigação entre os mecanismos externos de mediação e situações-problema de eletrostática, em uma disciplina de física geral em nível universitário / Graciela Paz Meggiolaro. – 2019.

187 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. Campo elétrico. 3. Eletrostática. 4. GeoGebra. 5. Teoria da Mediação Cognitiva. 6. Teoria dos Campos Conceituais. I. Andrade Neto, Agostinho Serrano de. II. Título.

CDU 372.853

Bibliotecária responsável – Heloisa Helena Nagel – 10/981

## FOLHA DE APROVAÇÃO

GRACIELA PAZ MEGGIOLARO

UMA INVESTIGAÇÃO ENTRE OS MECANISMOS EXTERNOS DE  
MEDIAÇÃO E SITUAÇÕES-PROBLEMA DE ELETROSTÁTICA, EM UMA  
DISCIPLINA DE FÍSICA GERAL EM NÍVEL UNIVERSITÁRIO

Linha de pesquisa: Tecnologias de Informação e Comunicação  
para o Ensino de Ciências e Matemática.

Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação em Ensino  
de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil  
para obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências e  
Matemática.

Data de Aprovação: 15/04/2019

### BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Antônio Vanderlei dos Santos  
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI

---

Prof. Dr. Bruno Campelo de Souza  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Profa. Dra. Carmen Teresa Kaiber  
Universidade Luterana do Brasil – ULBRA

---

Prof. Dr. Paulo Tadeu Campos Lopes  
Universidade Luterana do Brasil -ULBRA

---

Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto (Orientador)  
Universidade Luterana do Brasil – ULBRA

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por mais esta conquista.

À minha família, pelo incentivo, compreensão, apoio, carinho e paciência.

Ao meu orientador Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto, pela confiança, paciência, orientação e direcionamento.

Aos professores Dr. Antônio Vanderlei dos Santos; Dr. Bruno Campello de Souza; Dra. Carmem Teresa Kaiber; Dr. Paulo Tadeu Campos Lopes.

Aos amigos pelo apoio e carinho nos momentos de dificuldade.

Aos colegas do grupo de pesquisa, pelas discussões e auxílios em todos os momentos.

Aos funcionários e professores do Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIM) - ULBRA que contribuíram para a minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio no subsídio desta pesquisa.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho.

Muito Obrigada!

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma investigação no ensino de Física, mais especificamente em eletrostática, que está relacionada aos fenômenos elétricos estacionários, ou seja, cargas elétricas que se encontram em repouso diante de um sistema inercial de referência sendo apresentada de forma anterior ao estudo dos fenômenos magnéticos. No entanto, o seu entendimento conceitual ainda causa um desconforto nos alunos, tendo em vista os elementos complexos de interpretação baseados em cargas e partículas. Estes obstáculos de aprendizagem enfrentados pelos alunos em relação aos conceitos de carga elétrica, campo elétrico e força elétrica não podem ser analisados separadamente, visto que um único conceito não se refere a um só tipo de situação, onde estes conceitos não são isolados, mas entrelaçados entre si. Diante desse cenário, investigamos de que maneira o aluno utiliza as mediações como suporte para resolver determinadas situações-problema e a relação entre elas no campo conceitual da eletrostática. Adotamos o referencial teórico da Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) em relação ao mecanismo externo de mediação e a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) com às situações-problema. Os resultados foram obtidos após as análises realizadas sobre os pré-testes, pós-testes e gestos descritivos obtidos das imagens de vídeo, gravadas durante as entrevistas do pós-teste, a partir da metodologia qualitativa de tipo estudo de caso. Nossa análise constituiu-se na discussão dos conceitos de eletrostática separadas em dois experimentos em que, no experimento piloto, quatro alunos evidenciaram imagens mentais ligadas diretamente ao professor, ou seja, oriundas da interação social e cultural que os alunos tiveram com os seus respectivos docentes em sala de aula. E, no experimento definitivo, cinco alunos emergiram novos mecanismos externos de mediações, uma vez que cada estudante apresentou indícios de diferentes mediações, baseados no mesmo conceito, apontando que, para ocorrer uma modificação e/ou construção de *drivers* e imagens mentais no campo conceitual da eletrostática, predominou o conjunto da mediação social, cultural e hipercultural.

**Palavras-chave:** Campo elétrico; Eletrostática; GeoGebra; Teoria da Mediação Cognitiva; Teoria dos Campos Conceituais.

## ABSTRACT

This work presents an investigation in the teaching of Physics, more specifically in electrostatics, which is related to stationary electrical phenomena, that is, electric charges that are at rest before an inertial reference system being presented prior to the study of magnetic phenomena. However, their conceptual understanding still causes discomfort in students, given the complex elements of interpretation based on charges and particles. These learning obstacles faced by students in relation to the concepts of electric charge, electric field and electric force can not be analyzed separately, since a single concept does not refer to a single type of situation and a single situation can not be analyzed with a only concept. Given this scenario, we seek to investigate how the student uses external mediation as a support to solve certain problem situations and the relationship between them in the conceptual field of electrostatics in the learning process. We adopt the theoretical framework of Cognitive Networks Mediation Theory (MCT) and Theory of Conceptual Field (TCC) in relation to external processing and situations where a concept does not form within a single situation. The results were obtained after the analysis of the pre-tests, post-tests and descriptive gestures obtained from the video images recorded during the post-test interviews, based on the qualitative methodology of the case study type. Our analysis consisted in discussing the concepts of electrostatics separated in two experiments where the first experiment, the four students showed mental images directly linked to the teacher, that is, from the social interaction that the students had with their respective teachers in the classroom. class. And the second experiment, in which five students emerged new external processes, that is, each student presented evidence of different mediations, based on the same concept, pointing out that to occur a learning in the conceptual field of electrostatics prevailed the whole of socio-cultural and hypercultural mediation. A third experiment is still underway, and psychophysical mediation is inserted during the experimental activity, with the intention of verifying whether this new external mechanism contributes to the conceptual construction of the fundamentals of electrostatics.

**Keywords:** Electric Field; Electrostatics; GeoGebra; Cognitive Networks Mediation Theory; Theory of Conceptual Field.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Categorização dos artigos. ....	23
Figura 2: Processamento cognitivo por mediação externa .....	45
Figura 3: Mecanismo externo via mediação psicofísica.....	48
Figura 4: A mediação social entre dois sujeitos A e C.....	49
Figura 5: Exemplo de interação indireta entre dois sujeitos via mediação social. ....	49
Figura 6: Exemplo de mediação social aluno – professor.....	50
Figura 7: Mecanismo externo via mediação cultural.....	51
Figura 8: Origem do driver cultural carga elétrica – livro didático.....	51
Figura 9: Origem do driver hipercultural vetor campo elétrico – simulação computacional...	53
Figura 10: Mecanismo externo via mediação hipercultural. ....	54
Figura 11: Formas de mecanismo externo de mediações.....	55
Figura 12: Triplete de conceito. ....	61
Figura 13: Campo Conceitual de Vergnaud. ....	63
Figura 14: Vinculo entre os dois referenciais teóricos. ....	65
Figura 15: Princípios para a produção de dados.....	71
Figura 16: Texto explicativo sobre campo elétrico. ....	76
Figura 17: Descrição dos espaços na simulação computacional no GeoGebra.....	80
Figura 18: Descrição dos alunos envolvidos na pesquisa. ....	82
Figura 19: Exemplo de produção de dados. ....	83
Figura 20: Soma de vetores. ....	86
Figura 21: Simulação computacional: Campo elétrico de cargas puntiformes. ....	87
Figura 22: Organização das categorias de análise do experimento definitivo. ....	90
Figura 23: Vetores gerados pelas cargas no pós-teste.....	93
Figura 24: Imagem do GeoGebra referente vetores. ....	93
Figura 25: Representação de um paralelogramo. ....	94
Figura 26: (I) Aluno 4: Terceira situação-problema do pré-teste; (II) Aluno 4: Terceira situação-problema do pós-teste. ....	95
Figura 27: Aluno 4: Gestos #VR: Vetor Resultante.....	95
Figura 28: Aluna 1: Gestos #VR: Vetor Resultante.....	96
Figura 29: (I) Aluna 1: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 1: Primeira situação-problema do pós-teste. ....	97
Figura 30: (I) Aluna 3: Terceira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 3: Terceira situação-problema do pós-teste. ....	98
Figura 31: Aluna 3: Gestos #RV: Representação do Vetor.....	98
Figura 32: Aluno 5: (I) Gesto #CEP: Carga Elétrica Positiva; (II) Gesto #CEN: Carga Elétrica Negativa.....	101
Figura 33: Aluna 6: (I) Gesto #CP: Carga e o Ponto; (II) Gesto #CD: Caminhão se deslocando; (III) Gesto #P: Peso. ....	102
Figura 34: Aluna 6: Gesto #CP: Carga e ponto.....	103
Figura 35: (I) Bastão; (II) esfera condutora; (III e IV) cargas ao redor de uma esfera .....	104
Figura 36: Representação de uma esfera .....	104



Figura 37: Bastão com cargas.....	105
Figura 38: Linhas de campo gerado por cargas iguais. ....	105
Figura 39: Aluna 8: Gesto #CPP: Carga pequena. ....	106
Figura 40: Movimento dos portadores de carga em uma corrente. ....	106
Figura 41: Aluna 9: Gesto #PE: Processo de Eletrização.....	107
Figura 42: Aluno 7: (I) Linhas se afastam quando as cargas são positivas; Aluno 7: (II) Linhas se aproximam das cargas negativas. ....	109
Figura 43: Aluna 9: (I) Linhas de campo gerado por cargas diferentes; Aluna 9: (II) Linhas de campo gerado por cargas iguais.....	109
Figura 44: (I) Aluno 5: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluno 5: Primeira situação-problema do pós-teste. ....	110
Figura 45: (I) Aluna 6: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 6: Primeira situação-problema do pós-teste. ....	110
Figura 46: (I) Aluno 7: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluno 7: Primeira situação-problema do pós-teste. ....	111
Figura 47: (I) Aluna 8: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 8: Primeira situação-problema do pós-teste. ....	111
Figura 48: (I) Aluna 9: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 9: Primeira situação-problema do pós-teste. ....	111
Figura 49: Aluno 5: Gesto #CEP: Carga Elétrica Positiva.....	113
Figura 50: Aluno 5: Gesto #CEN: Carga Elétrica Negativa.....	113
Figura 51: (I) Linhas de campo gerado por cargas diferentes; (II) Linhas de campo gerado por cargas iguais. ....	114
Figura 52: Simulação computacional no GeoGebra.....	114
Figura 53: Aluna 8: Gesto #CEP: Carga Elétrica Positiva.....	115
Figura 54: Aluna 9: Gesto #CEN: Carga Elétrica Negativa.....	115
Figura 55: (I) Ponto próximo a carga; (II) Ponto afastado da carga.....	121
Figura 56: Aluno 5: Gesto #CP: Carga e Ponto. ....	122
Figura 57: Aluno 5: Gesto #MV: Módulo do Vetor.....	122
Figura 58: Aluna 6: Gesto #MV: Módulo do Vetor. ....	123
Figura 59: Aluno 7: Gesto #MD: Movimento do desenho.....	123
Figura 60: (I) Aluna 8: Gesto #MV: Módulo do vetor menor; (II) Aluna 8: Gesto #MV: Módulo do vetor maior. ....	124
Figura 61: Aluna 9: Gesto #MV: Módulo do Vetor. ....	124
Figura 62: Campo elétrico resultante no ponto B.....	126
Figura 63: (I) Aluna 6: Segunda situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 6: Segunda situação-problema do pós-teste. ....	129
Figura 64: (I) Aluna 6: Terceira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 6: Terceira situação-problema do pós-teste. ....	129
Figura 65: Aluno 7: Gesto #CEP: Carga Elétrica Positiva.....	130
Figura 66: (I) Aluno 7: Terceira situação-problema do pré-teste; (II) Aluno 7: Terceira situação-problema do pós-teste. ....	131
Figura 67: Aluna 8: Gesto #RV: Representação do Vetor. ....	133

Figura 68: (I) Aluna 8: Segunda situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 8: Segunda situação-problema do pós-teste. ....	133
Figura 69: Aluna 8: Gesto #CEN: Carga Elétrica Negativa. ....	134
Figura 70: (I) Aluna 8: Terceira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 8: Terceira situação-problema do pós-teste. ....	134
Figura 71: Representação da regra do paralelogramo. ....	136
Figura 72: (I) Aluna 6: Quarta situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 6: Quarta situação-problema do pós-teste. ....	140
Figura 73: Campo elétrico associado a um campo qualquer, ao campo gravitacional. ....	140
Figura 74: Aluna 6: (I) Gesto #CG: Campo Gravitacional; (II) Gesto #CGA: Campo Gravitacional com Atração. ....	141

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Evolução das formas de mediação cognitiva.....	54
Quadro 2: Seis fontes de evidências: pontos fortes e pontos fracos.....	69
Quadro 3: Situações-problema do pré-teste .....	73
Quadro 4: Situações-problema do guia de atividade do aluno .....	76
Quadro 5: Indícios de mecanismo externo de mediação referente à carga elétrica.....	108
Quadro 6: Indícios de mecanismo externo de mediação referente as linhas de campo.....	116
Quadro 7: Indícios de mecanismo externo de mediação referente o vetor campo elétrico. ....	120
Quadro 8: Indícios de mecanismo externo de mediação referente ao campo elétrico relacionado a distância.....	125
Quadro 9: Indícios de mecanismo externo de mediação referente ao vetor campo elétrico resultante.....	137
Quadro 10: Indícios de mecanismo externo de mediação referente Força elétrica. ....	142

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Indícios de mecanismo externo de mediação referente à carga elétrica. ....	108
Gráfico 2: Mecanismo externo de mediação referente as linhas de campo elétrico.....	116
Gráfico 3: Mecanismo externo de mediação referente vetor campo elétrico. ....	120
Gráfico 4: Mecanismo externo de mediação referente ao campo elétrico relacionado a distância. .....	125
Gráfico 5: Mecanismo externo de mediação referente o vetor campo elétrico resultante. ....	138
Gráfico 6: Mecanismo externo de mediação referente a força elétrica. ....	142

## SUMÁRIO

<b>1 CAMINHO PERCORRIDO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
2.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....	19
2.2 OBJETIVOS .....	20
<b>2.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>20</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
3.1 METODOLOGIA ADOTADA NA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	22
3.2 ELETROSTÁTICA .....	24
<b>3.2.1 Livros didáticos .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.2 Concepções dos alunos .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.3 Recursos computacionais.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.4 GeoGebra .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.5 Gestos.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.6 Imagens mentais .....</b>	<b>36</b>
3.3 IMPLICAÇÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA NA PESQUISA .....	37
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>41</b>
4.1 A TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA – TMC.....	42
<b>4.1.1 Fundamento das TMC .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1.2 Drivers.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1.3 Formas de Mediações.....</b>	<b>46</b>
4.1.3.1 Mediação Psicofísica .....	47
4.1.3.2 Mediação Social .....	48
4.1.3.3 Mediação Cultural .....	50
4.1.3.4 Mediação Hiper-cultural .....	52
<b>4.1.4 Evolução dos mecanismos de mediação .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1.5 Suporte teórico da TMC .....</b>	<b>55</b>
3.1.5.1 Contribuições de Piaget.....	55
4.1.5.2 Contribuições de Vygotsky .....	56
4.1.5.3 Contribuições de Sternberg .....	57
4.2 TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS - TCC.....	59
<b>4.2.1 Esquemas.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2.2 Conceito.....</b>	<b>60</b>
<b>4.2.3 Situações.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2.4 Invariantes Operatórios.....</b>	<b>62</b>

4.3 RELAÇÃO ENTRE A TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA E A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS .....	63
<b>5 METODOLOGIA .....</b>	<b>66</b>
5.1 A PESQUISA .....	67
5.2 MÉTODO QUALITATIVO: O ESTUDO DE CASO .....	68
<b>5.2.1 Primeiro Princípio: Definição e planejamento .....</b>	<b>71</b>
<b>5.2.2 Segundo Princípio: Preparação e produção .....</b>	<b>72</b>
5.2.1.1 Pré-teste e pós-teste individual .....	73
5.2.1.2 Guia de atividade .....	75
5.2.1.3 Simulação .....	79
5.2.1.4 Entrevista .....	81
5.2.1.5 Transcrição e gestos .....	82
<b>5.2.3 Terceiro Princípio: análise e conclusão .....</b>	<b>84</b>
5.3 CONTEXTO DA PESQUISA .....	85
<b>5.3.1 Trajetória do experimento.....</b>	<b>85</b>
<b>5.3.2 Experimento piloto.....</b>	<b>87</b>
<b>5.3.3 Experimento definitivo .....</b>	<b>89</b>
<b>6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>91</b>
6.1 EXPERIMENTO PILOTO .....	92
6.2 EXPERIMENTO DEFINITIVO.....	99
<b>6.2.1 Carga elétrica.....</b>	<b>100</b>
<b>6.2.2 Linhas de campo elétrico .....</b>	<b>108</b>
<b>6.2.3 Vetor campo elétrico .....</b>	<b>117</b>
<b>6.2.4 Campo elétrico relacionado a distância .....</b>	<b>121</b>
<b>6.2.5 Vetor campo elétrico resultante .....</b>	<b>126</b>
<b>6.2.6 Força elétrica .....</b>	<b>138</b>
<b>6.2.7 Consideração das mediações envolvidas .....</b>	<b>142</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>147</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>152</b>
<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>162</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>164</b>
APÊNDICE A – PRODUÇÃO DE DADOS: Pré-teste.....	165
APÊNDICE B – GUIA DE ATIVIDADE DA SIMULAÇÃO .....	169
APÊNDICE C – PRODUÇÃO DE DADOS: Pós-teste .....	180
APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	183
APÊNDICE E – GESTOS UNIVERSAIS .....	184

## **1 CAMINHO PERCORRIDO**

Em 2001, concluí o curso Técnico em Informática na Escola Técnica Estadual 25 de Julho, localizada em Ijuí. No mesmo ano, ingressei no curso de Licenciatura em Matemática na Universidade Regional do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI). A escolha ocorreu por influência de uma professora de Matemática do Ensino Fundamental, porém, no ano de 2003, realizei a transferência interna para o curso de Licenciatura em Física.

Durante o curso de graduação, tive a oportunidade de realizar um estágio no Laboratório de Ensino de Matemática do DeDEM/UNIJUI por meio do CIE-E. Lá permaneci por dois anos, atendendo alunos da graduação, professores e oficinas pedagógicas em situações matemáticas e na construção de materiais com escolas municipais e estaduais da região, com foco nas metodologias de ensino da matemática e nas propostas dos Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Fundamental e Ensino Médio).

Com a convivência com as colegas e constantes discussões a respeito do ensino, em 2009, ingressei no Mestrado em Educação nas Ciências na Universidade Regional do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), na área de concentração de Física. A pesquisa envolveu a análise da proposição da dualidade onda-partícula em três coleções de livros didáticos de Física, indicados no Catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio – Física, PNLEM/2009.

Paralelamente ao mestrado, participei do Grupo de Estudo em Educação Matemática (GEEM) entre os anos de 2009 e 2012. As discussões estavam voltadas a compreender a formação de professores, tanto inicial quanto continuada, como um processo complexo e de grande relevância para a melhoria da qualidade educativa no ensino básico.

Em julho de 2009, iniciei o curso de Especialização em Física para a Educação Básica na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em parceria com a Universidade Aberta do Brasil (UAB), polo de Panambi. A pesquisa envolveu o uso de uma Planilha Eletrônica, voltada à Física Moderna, envolvendo os conceitos da Radiação do Corpo Negro. Trabalhei com conceitos da Física Quântica para aproveitar as pesquisas realizadas no mestrado.

Em 2010, iniciei minhas atividades como professora na Escola Educacional Santa Rosa,

no município de Santa Rosa (RS), no Colégio Frei Matias, no município de Ijuí (RS) e no Centro Educativo Érico Verissimo, no município de Cruz Alta (RS), ministrando as aulas de Física Aplicada à Radiologia, Proteção e Segurança no Trabalho e Higiene da Radiações, para o curso Técnico em Radiologia.

No ano de 2013, trabalhei no Centro de Educação Básica Francisco de Assis, em Ijuí, com alunos do terceiro ano. Tratava-se de um curso preparatório para o vestibular, com aulas de recuperação para alunos do Ensino Médio.

Em 2014, trabalhei Física com alunos do Ensino Médio na Escola Técnica Estadual 25 de Julho. Por fim, desde 2014 até 2018, trabalhei no Ensino Superior na Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI) com Física Geral I, Física Geral II e Física Geral III, nos cursos de Matemática, Engenharia Civil, Elétrica e Mecânica. Em 2014, iniciei a participação no Grupo de Pesquisa em Ensino em Engenharia, cuja preocupação formar mais profissionais engenheiros, repensar o ensino de Engenharia e compreender como que ocorre a aprendizagem desses profissionais.

Atualmente, atuo em Física na Faculdade Santo Ângelo (FASA), nos cursos de Agronomia, Engenharia Civil e Engenharia Ambiental e Sanitária.

Em 2015, iniciei o Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática na ULBRA, em Canoas (RS). A necessidade de pesquisar sobre campo elétrico surgiu por influência do professor Dr. Antônio Vanderlei dos Santos, que na época era chefe de departamento na instituição onde eu lecionava. Ele trabalhava com a Física Geral III e a disciplina de Eletromagnetismo. O professor Vandão, como era carinhosamente chamado por todos, havia realizado pesquisas nessa área.

Ainda no ano de 2015, iniciei a participação no grupo de pesquisa Tecnologias de Informação e Comunicação em Ensino de Ciências e Matemática, com o intuito de contribuir na investigação em Educação em Ciências e Matemática, utilizando pressupostos epistemológicos e teóricos da área, sobre como ocorre o desenvolvimento cognitivo quando em contato com as TICs.

Essa caminhada no ensino da Física no curso Técnico de Radiologia e a experiência na Educação Básica e Superior permitiram produções acadêmicas em trabalhos, artigos e eventos, convergindo para a reflexão sobre minha formação e constantes buscas de melhorar o ensino no meio em que estou inserida. Daí surgiu este trabalho científico, em que deliberadamente utilizo linguagem pessoal e às vezes impessoal.

O trabalho está dividido em seis capítulos. Reservou-se o segundo capítulo a introdução, onde a investigação é apresentada, o terceiro capítulo à revisão bibliográfica, contendo os



trabalhos relacionados com Eletrostática, que apontam as dificuldades que os alunos possuem no estudo sobre carga elétrica e campo elétrico, a utilização de diferentes *softwares* no ensino e as contribuições pertinentes como estratégias no ensino de Eletrostática. As situações-problema trabalhadas na tese permitem a interação com o recurso computacional, promovendo a interação social entre o aluno e o professor, bem como a reflexão por parte do aluno sobre os resultados encontrados.

No quarto capítulo, discute-se o referencial teórico, abordando-se as Teorias Construtivista da Mediação Cognitiva e dos Campos Conceituais. A Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), apresentada por Bruno Campello de Souza (2004), e a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), apresentada por Gérard Vergnaud (1990), mostraram ser ferramentas eficazes para o estudo sobre Eletrostática. Por fim, são evidenciadas as relações entre as mediações, conceito central na TMC, e as situações, conceito da TCC.

No quinto capítulo, faz-se a descrição detalhada da metodologia adotada nos experimentos, justificando-se o conjunto de evidências abordadas na construção desta pesquisa, a fim de produzir os dados para análise, a partir de Yin (2001), com o método de estudo de caso, e a realização das entrevistas individuais, com a técnica *Report Aloud*, de Ramos (2015), Wolff (2015), Trevisan (2016) e Veloso (2017). Para a análise da linguagem verbal, utiliza-se a Análise Textual Discursiva proposta por Moraes e Galiuzzi (2007), enquanto que para a Análise Gestual Descritiva, em relação aos gestos dos alunos, baseamo-nos em Monaghan e Clement (1999); Clement e Steinberg (2002); Clement e Stephens (2010). Realiza-se, ainda, a discussão dos universais abstratos e dos universais concretos de Erickson (1986).

No sexto capítulo, apresentam-se as análises divididas nos dois experimentos realizados. No experimento piloto, com estudo voltado a discussão de quatro alunos do curso de licenciatura em Física por intermédio da TMC e no experimento definitivo, a análise com cinco alunos do curso de engenharia através da discussão das teorias da TMC e TCC.

Por conseguinte, no sétimo capítulo, são apresentadas as considerações finais deste trabalho, na perspectiva de ampliar a discussão referente aos conceitos de Eletrostática para o ensino de Física. Além desses capítulos, a estrutura do trabalho conta com as referências bibliográficas utilizadas e os apêndices, nos quais são apresentadas as atividades desenvolvidas durante a trajetória da pesquisa.

## 2 INTRODUÇÃO

Representação<sup>1</sup>



Fonte: A pesquisa.

---

<sup>1</sup> A imagem do quebra cabeça simboliza o caminho percorrido para essa investigação. Em destaque para o capítulo que será abordado.

Na Física podemos analisar e compreender os fenômenos por meio de diferentes representações, tais como diagramas, equações, gráficos, linguagem, tabelas, situações-problemas e simulações computacionais, para ilustrar e explicar os diversos acontecimentos na natureza, tanto em escala local como em escala astronômica. Esta busca pela tradução e elucidação científica faz com que a Física possibilite ao aluno um caminho de desenvolvimento e aprendizado acerca do mundo que o rodeia (BRASIL, 2009).

O estudo de eletromagnetismo é fundamental para todos os ramos da Física, sendo a combinação de fenômenos elétricos e magnéticos. Dentre as diversas implicações do eletromagnetismo, podemos mencionar, por exemplo, que a corrente elétrica produz efeitos magnéticos, e ambas associadas, produzem ondas eletromagnéticas, ondas de rádio, televisão, micro-ondas, etc.

A eletrostática está relacionada aos fenômenos elétricos estacionários, ou seja, cargas elétricas que se encontram em repouso em relação a um sistema inercial de referência. Desde a antiguidade, os gregos já se preocupavam com esse assunto, ao observarem algumas propriedades adquiridas por determinados materiais quando atritados, tal como apontados em Serway e Jewett (2008), Halliday, Resnick e Walker (2010), Tipler e Mosca (2015).

Alguns fatos relacionados com o nosso cotidiano evidenciam fenômenos da eletrostática, como por exemplo, uma máquina de fotocópia, a polinização das abelhas, a aderência estática entre peças de roupas, tintas eletrostáticas utilizadas na indústria automotiva, um pente que atrai pequenos pedaços de papel e os choques elétricos ao tocar em canos metálicos.

No entanto, o seu entendimento conceitual ainda causa um desconforto nos alunos, tendo em vista os elementos complexos de interpretação baseados em cargas e partículas. Essas dificuldades surgem, em grande parte, pelo fato de os fenômenos eletrostáticos ocorrerem em escala atômica. Ademais, Furió e Guisasola (1998, 1999); Furió, Guisasola e Almodí (2004), Araújo e Moreira (2007); Guisasola et al. (2008); Park et al. (2001); Criado e Garcia (2010) e Shen e Linn (2011) apontam, em suas investigações, resultados direcionados às dificuldades de aprendizagem dos conceitos de eletrostática, caracterizadas pelo embaraço em raciocínios ao longo de resoluções de problemas que estejam inclinados à compreensão conceitual e não ao formalismo matemático. Nesse sentido, Kneubil e Ricardo (2014) salientam que os alunos dominam a teoria, mas possuem dificuldades em interpretar fenômenos simples, evidenciando que parece existir uma grande distância entre o formalismo e a realidade.

Estes obstáculos de aprendizagem enfrentados pelos alunos em relação aos conceitos de carga elétrica, campo elétrico e força elétrica não podem ser analisados separadamente, visto

que um único conceito não se refere a um só tipo de situação e uma única situação não pode ser analisada com um só conceito (VERGNAUD, 1990). Diante desse cenário, nossa investigação contemplará o Campo Conceitual da Eletrostática que representa um conjunto de situações e problemas, cuja abordagem requer o domínio de vários conceitos estreitamente interconectados.

E, na posição de professora da disciplina de Física Geral III<sup>2</sup>, do curso de Engenharia<sup>3</sup>, consigo identificar, durante as atividades desenvolvidas em sala de aula, muitas das dificuldades apontadas na literatura a respeito do Campo Conceitual da Eletrostática. Em vista desses aspectos, concordamos com a importância da realização de estudos que busquem auxiliar os alunos na compreensão fenomenológica da eletrostática, sem negligenciar seu formalismo matemático. Desta forma, pode-se também preencher lacunas teóricas essenciais para o aprendizado de conteúdos posteriores, como a eletrodinâmica.

Sobretudo, torna-se indispensável o estudo de eletrostática não apenas como memorização de métodos ou equações, mas, sim, com propostas de ensino que possam proporcionar ao aluno a sustentação teórica necessária para confrontar suas concepções iniciais na busca pela compreensão do ambiente que o cerca. Para Vergnaud (1990) as situações é que dão sentido ao conceito, ou seja, as situações que são responsáveis pelo sentido atribuído ao conceito. E o conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações. Portanto as situações precisam ser estabelecidas e incorporadas por mecanismos externos, dando sentido aos conceitos de carga elétrica, campo elétrico e força elétrica.

Em conformidade com o acima exposto, é essencial analisarmos como ocorre a evolução da conceitualização dos alunos ao longo do experimento, não apontando se estão corretos ou errados, mas, sim, analisando como esses conceitos estabelecem comunicações nos mecanismos externos. Essa preferência de ênfase, deve-se pelo fato de a cognição humana advir da interação com o ambiente, em que este fornece à estrutura cognitiva uma capacidade

---

<sup>2</sup> Ementa: objetivo geral do componente é identificar os fenômenos naturais em termos de regularidade e quantificação, interpretando os princípios fundamentais que generalizam as relações entre eles e aplicá-los na resolução de problemas através dos conceitos de Força elétrica, Campo elétrico, Lei de Gauss, Potencial elétrico, Capacitores e dielétricos, Corrente elétrica e resistência, Força eletromotriz, Circuitos de corrente contínua, Magnetismo, Eletromagnetismo. Com o desenvolvimento dos conteúdos da Física Geral III, o aluno deverá ser capaz de desenvolver as ferramentas de cálculo aplicado ao eletromagnetismo, assim como obter um entendimento dos fenômenos eletromagnéticos que devem ser usados em cadeiras posteriores no curso.

<sup>3</sup> Experiência nos cursos do Ensino Superior: Engenharia Civil, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica e Licenciatura em Matemática.

adicional de processamento, por meio dos mecanismos externos de mediação, classificados por Souza (2004) como psicofísicos, sociais, culturais e hiperculturais.

A Teoria da Mediação Cognitiva – TMC – permite explicar a comunicação entre a estrutura cognitiva do sujeito e o mecanismo externo de processamento de informações, mediante representações mentais. O cérebro cria competências específicas para comunicar-se com este mecanismo, propiciando a aquisição de conhecimentos (SOUZA, 2004). A cognição extracerebral é uma mediação que depende das estruturas externas, as quais complementam o processamento de informações realizado pelo cérebro (SOUZA et al., 2012).

Com relação à acepção de significado para uma situação, esta pode ser definida como um conjunto de conceitos, esquemas e competências mais amplos que possibilitam facilidade na representação e manipulação do saber, com maior quantidade e variedade de mecanismos de registros. Além disso, é capaz de decompor, distribuir, gerenciar e recompor tarefas cognitivas ao longo de diferentes mecanismos de mediação utilizados, tanto interno quanto externos (SOUZA et al., 2012).

Portanto, a proposta de construção e/ou modificação dos conceitos de campo elétrico, com análise na Teoria da Mediação Cognitiva e na Teoria dos Campos Conceituais, torna-se inédita, à medida que, em nossa revisão de literatura<sup>4</sup>, não encontramos estudos com este aporte teórico, e conta como um dos pontos-chave o vínculo estabelecido entre as teorias em razão de acreditarmos que um conceito não se forma e se consolida apenas dentro de um tipo de situação.

## 2.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A necessidade de investigar como os diferentes mecanismos externos de mediações, expostos ao aluno durante sua vida, entrelaçam-se, conversam e contribuem para a construção do Campo Conceitual da Eletrostática, é um caminho importante na condução dos estudantes ao processo de aprendizagem. Nesse âmbito, o problema de pesquisa consiste em:

*Como os mecanismos externos de mediação e as situações-problema se entrelaçam quando um aluno progride no domínio do campo conceitual ao resolver um problema de eletrostática?*

No entanto, para respondê-lo, faz-se necessário, primeiramente, responder à questão: Os alunos do ensino superior apresentaram evidências de modificação e/ou construção de imagens

---

<sup>4</sup> Apresentada no capítulo 3.

mentais e *drivers*<sup>5</sup> acerca do conceito de campo elétrico durante a trajetória acadêmica?

Enfim, deve-se investigar, após o experimento e a partir das entrevistas com os alunos de Engenharia, se eles apresentam evidências de modificações e/ou construção de imagens mentais e *drivers* acerca dos conceitos de campo elétrico resultante e quais as mediações vivenciadas pelos acadêmicos apresentam contribuições relevantes para a compreensão deste objeto de estudo.

## 2.2 OBJETIVOS

Constatada a importância de investigar o uso de diferentes mecanismo externos de mediações no ensino da eletrostática, apresentam-se, a seguir, os objetivos para esta pesquisa.

### 2.2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo da tese é investigar quais mecanismos externos de mediação o aluno utiliza como suporte para resolver situações-problema de eletrostática e a relação entre elas na discussão do Ensino de Física.

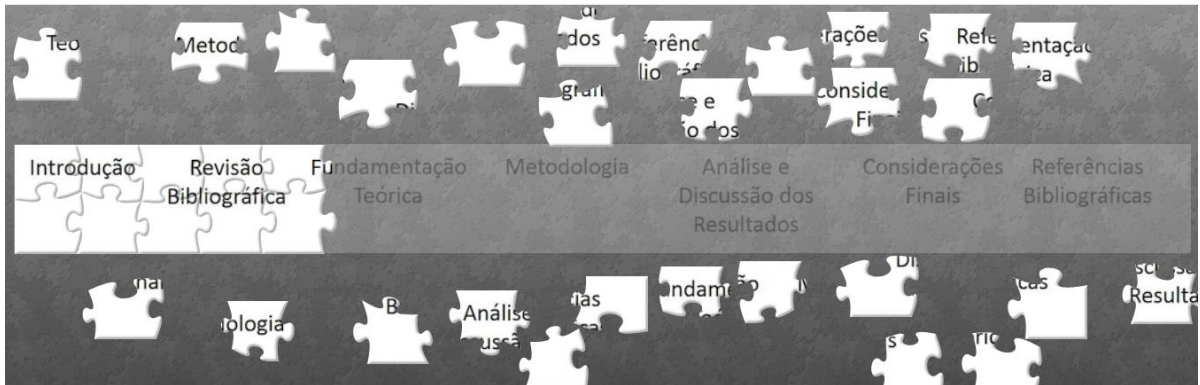
### 2.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as imagens mentais e *drivers* que os alunos do Ensino Superior manifestam no pré-teste e no pós-teste, por meio da linguagem escrita, verbal e gestual;
- Investigar quais mecanismo externos de mediação os alunos apontam no Campo Conceitual da Eletrostática;
- Analisar se ocorreram modificações e/ou construções de imagens mentais e *drivers* na estrutura cognitiva dos alunos do Ensino Superior, referente ao campo conceitual da eletrostática.

---

<sup>5</sup> “*Drivers*” são apresentados pela Teoria da Mediação Cognitiva como “máquinas virtuais” internas, armazenando informações através da sua interação com mecanismos externos, os *drivers* são acessados pelo cérebro.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



Fonte: A pesquisa.

Com o objetivo de compor o estado da arte do campo conceitual da eletrostática no ensino de Física, esta construção da revisão foi elaborada no intuito de apontar pesquisas realizadas na discussão dos conceitos da eletrostática, envolvendo consulta de artigos dos anos de 1992 até 2019. Inicialmente, será abordada a metodologia utilizada na organização dessa revisão, seguida dos artigos trabalhados em seis categorias: livros didáticos, concepções dos alunos, recursos computacionais, GeoGebra, gestos e imagens mentais; e, por fim, a implicação da revisão bibliográfica na pesquisa, através das contribuições pertinentes como estratégias no ensino de Eletrostática.

### 3.1 METODOLOGIA ADOTADA NA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A metodologia adotada para a pesquisa ocorreu através do acesso às páginas dos periódicos, *Scopus*, *Web of Science* e também do ERIC - *Educational Resources Information Center*. Adotamos também os critérios de Fator de Impacto, no qual são citados periódicos A1, A2 e B1, relacionado ao número de citações por artigo da SJR - *SCImago Journal & Country Rank*. As palavras-chave para a pesquisa nos títulos e resumos foram: “Carga Elétrica”, “*Carga Eléctrica*”, “*Electric Charge*”, “*Electric Field*”, “*Campo Eléctrico*”, “Campo Elétrico”, “GeoGebra”.

Baseado em Greca (2000), Pantoja (2015), Wolff (2015) e Araujo e Veit (2004), também realizamos a pesquisa em periódicos nacionais e internacionais. O levantamento desta consulta resultou em 53 artigos que interligaram de alguma maneira com a pesquisa. Estes artigos compõem 28 periódicos, dentre os periódicos estão:

#### Periódicos Nacionais:

- Caderno Brasileiro de Ensino de Física (B1); Cadernos do Aplicação – UFRGS (B4); Ciência e Educação – BAURU (A1); Educar em Revista (A1) Educação Matemática em Revista (A2); Experiências em Ensino de Ciências - Revista Experiências – EENCI (B1); Revista Brasileira em Ensino de Física (A1); Revista da Sociedade Brasileira de Matemática – SBEM/RS (A2); Revista Brasileira Novas Tecnologias na Educação – RENOTE (B1); VIDYA (A2).

#### Periódicos Internacionais:

- *American Journal of Physics* (A1); *Asia – Pacific Forum on Science Learning and Teaching*; *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education* (A1); *Education Studies in Mathematics* (A1); *European Journal of Engineering Education*



(B1); *European Journal Of Physics* (A1); *International Conference on Emerging e Learning Technologies and Applications - ICETA*; *International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education – CISPEE*; *International Journal of Science Education* (A1); *International Journal of Science and Mathematics Education* (A1); *Journal of Chemical Education*; *Physics Education* (A1); *Journal of Research in Science Teaching* (A1); *Physical Review Special Topics* (B1); *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (A2); *Research in Science & Technological Education* (A1); *Review of Education Research*; *Science & Education* (A1); *The Journal of the Learning Sciences*.

A partir destes periódicos, emergiram seis categorias (Figura 1), onde apontamos pertinentes em relação ao estudo de caso da nossa pesquisa, sendo elas: livros didáticos, concepções dos alunos, recursos computacionais, GeoGebra, gestos e imagens mentais, que encontram-se relacionadas aos conceitos da Eletrostática. Cabe ressaltar que a categorização não é única possível, uma vez que não é nosso objetivo realizar qualquer análise crítica a respeito dos artigos encontrados.

Figura 1: Categorização dos artigos.



Fonte: A pesquisa.

A seguir, apresentaremos os resultados da revisão de literatura dividido conforme mencionado nas categorias.

### 3.2 ENSINO DE ELETROSTÁTICA

Justifica-se que o estudo de fenômenos físicos relacionados ao eletromagnetismo é mais abstrato do que os fenômenos mecânicos (LOPEZ; SILVA, 2015). No entanto, o entendimento dos alunos sobre os fenômenos físicos envolvidos ainda causa um desconforto, devido a alguns elementos complexos de visualização e a dificuldade que os alunos possuem em criar e usar representações da aplicação da física (GIRE, 2014).

Este ramo é tão abstrato que temos vários trabalhos que apontam as dificuldades que os alunos possuem, como os de Furió; Guisasola e Almodí (2004), Furió e Guisasola (1998; 2001), Furió et al. (2002), Gagnon (2011), Guisasola et al. (2008), Guisasola e Furió (1998), Martin e Solbes (2001), Rocha e Andrade Neto (2013), Santos, Santos e Fraga (2002), Lopez e Silva (2015).

Em nível mundial, existem trabalhos dentro da área de Ensino de Física que são ubíquos em qualquer revisão bibliográfica voltada ao aprendizado de eletromagnetismo, mencionamos, por exemplo: Dori e Belcher (2005), Gupta, Hammer e Redish (2010), Periago e Bohigas (2005), Baser e Geban (2007).

Vergnaud evidencia que o conhecimento está organizado em Campos Conceituais<sup>6</sup>, por intermédio da maturidade, experiência e aprendizagem. Uma vez que “é um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos, e operações de pensamento, conectados uns aos outros e possivelmente imbricados no processo de aquisição” (VERGNAUD, 1982).

Para Vergnaud (1993), um campo conceitual, existe uma variedade de situações onde os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que dão sentido aos conceitos e aos procedimentos que queremos que os alunos aprendam.

É necessário mais que apenas um determinado conceito para o entendimento deste conceito, como exemplo, no caso do campo elétrico, antes de aprender como que é gerado é preciso entender os conceitos como partículas, eletrização, carga elétrica, sistema internacional de medidas, direção e sentido de um vetor e resultante vetorial para então compreender o conceito de vetor campo elétrico resultante.

Assim sendo, é possível tratar o campo conceitual da eletrostática neste trabalho como um conjunto de situações-problemas cujo domínio requer conceitos-em-ação e teoremas-em-

---

<sup>6</sup> Abordada detalhadamente no Capítulo 4.

ação, relacionados a carga elétrica, campo elétrico, vetor campo elétrico, vetor campo elétrico resultante e força elétrica.

Para Moreira (2002) existe vários campos conceituais na Física, como por exemplo o da Mecânica, da Eletricidade e o da Termologia, onde esses campos não podem ser ensinados isoladamente e nem imediatamente. Dessa forma, A TCC tem como objetivo dar conta destes conhecimentos contidos nas ações, e analisar como eles são interconectadas e gerados por intermédio da resolução das situações-problema.

A seguir, apresentaremos os resultados da revisão de literatura dividido conforme enfoque mencionado nas categorias.

### **3.2.1 Livros didáticos**

Os livros didáticos de física, de maneira geral, possuem o objetivo de apresentar a Física como uma ciência possibilitando a compreensão da variedade de fenômenos naturais, que são indispensáveis para a formação profissional e para a compreensão do mundo, muitas vezes ocorrendo que os conteúdos abordados nos livros não consideram relações com outros tópicos da física, ou outras áreas de conhecimento (GARCIA, 2012).

Os alunos possuem dificuldades em compreender as representações visuais que os livros abordam, por mais que os livros apresentem situações iniciais e finais de um processo por uma série de gravuras em diferentes instantes de tempo e inclusive com o auxílio gestual do professor ou ilustrações adicionais no quadro-negro a respeito da interpretação dessas imagens em sala de aula, não têm sido também de grande e eficácia (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Em relação à epistemologia da história da física, muitas vezes os conceitos nos livros didáticos são distorcidos, ignorando a evolução da mudança conceitual, ao longo da história, demonstrando ausência da discussão referente aos problemas da eletrostática e que a representação do conceito é linear e acrítica (FURIÓ et al., 2002).

Pocovi e Finley (2003), comparam a abordagem do conceito de campo elétrico em dois livros didáticos utilizados na disciplina de Física Geral, no qual apontam as falhas da construção epistemológica a respeito ao conceito de campo, problemas na introdução do conceito, em relação a apresentação das visões de campo e de ação a distância.

O vetor eletrostático dificilmente é percebido pelos alunos na leitura de um livro didático, uma vez que este material costuma privilegiar mais fórmulas matemáticas do que o próprio conceito, onde uma alternativa é realizar uma atividade experimental para auxiliar no aprendizado e na visualização do campo elétrico (MARQUES, 2013).

### 3.2.2 Concepções dos alunos

Esta categoria contempla trabalhos que investigam especificamente as dificuldades que os alunos enfrentam no campo conceitual da eletrostática. A partir da revisão destes trabalhos, elaboramos, vinculação de cada um deles, mencionando os aspectos relevantes para a nossa pesquisa.

O entendimento sobre os fenômenos físicos envolvidos pelos alunos ainda gera um desconforto, devido a alguns elementos complexos de visualização, dado que são situações que ocorrem em nível microscópico. Além disso, problemas conceituais também são enfrentados pela comunidade acadêmica na construção dos conceitos acerca da teoria eletromagnética, os quais podem ser transpostos como dificuldades de aprendizagem (FURIÓ; GUIASOLA e ALMUDÍ, 2004).

Martin e Solbes (2001), destacam que tem sido difícil incluir conceito de campo e força, devido ao nível de abstração dos conteúdos implicados e a dificuldade em relacionar com experiências cotidianas, no qual frequentemente ocorre a confusão na descrição destes conceitos ocasionando complicações na aprendizagem.

De acordo com Guisasola et al. (2008), existem poucas investigações que analisam os fenômenos da carga elétrica que realmente focam na interpretação dos estudantes em relação aos processos de carga elétrica em um corpo, ou que direcionam na verificação dos conhecimentos e habilidades cognitivas que os discentes precisam ter para interpretar esses fenômenos.

Os alunos utilizam o senso comum, sendo caracterizado pela falta de coerência nas análises em relação às diferentes situações, e que as explicações possuem falta de consistências e interpretações científicas para descrever os fenômenos relacionados a eletrostática (FURIÓ; GUIASOLA e ALMUDÍ, 2004). Segundo Boss et al. (2009), apesar dos alunos terem trabalhado o conceito de carga elétrica no Ensino Médio eles apresentam concepções confusas e dificuldades em explicar o conceito quando se deparam com a disciplina de Física Geral 3 no Ensino Superior.

Eles não utilizam cientificamente os conceitos, como carga, diferença de potencial e capacidade elétrica quando interpretam os processos de cargas de um corpo, indicando problemas no estudo da eletricidade (GUIASOLA et al., 2008). Portanto, devemos considerar que o aluno só aprendeu significativamente quando o mesmo consegue diferenciar entre os conceitos de força e campo elétrico, quando ele reconhece a importância da transmissão

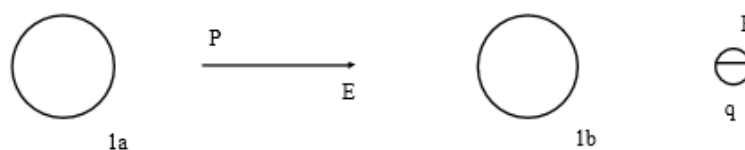
interação elétrica e quando distingue a aplicação de campo de Coulomb e a “gaiola de Faraday” (FURIÓ; GUIASOLA, 1998).

Como resultados mais amplos, Furió, Guisasola e demais colaboradores (1998; 1999; 2002; 2004), Guisasola et al. (2008), Santos; Santos e Fraga (2002), Park et al. (2001) descrevem, a partir das análises realizadas, que as dificuldades que os alunos possuem referente ao conceito de campo na eletrostática estão relacionadas ao:

- Apresentam erros de senso comum;
- Não diferem entre isolantes e condutores;
- Não diferenciam que não há campo elétrico no interior de um isolante, somente no interior de condutores;
- Não distinguem campo elétrico de força elétrica;
- Não conseguem distinguir entre material condutores e isolantes;
- Dificuldades nas situações de atração e repulsão de cargas, atração entre corpo neutro e corpo carregado;
- Pouco conhecimento das ferramentas matemáticas (vetores, derivadas, integrais) e conceitos básicos da mecânica (força e energia);
- Falta de interpretação das limitações de Coulomb em relação às interações elétricas entre as cargas;
- Compreensão de que o campo de magnitude intensidade depende apenas da distância, que não existe diferenciação entre a intensidade de campo elétrico e a força;
- Compreensão da representação gráfica do campo elétrico por linhas de campo e definir o conceito de fluxo elétrico, ou seja, dar um sentido real para as linhas de campo;
- Pouco conhecimento dos conceitos básicos da área da mecânica, energia, força e trabalho;
- E desacordo em relação às concepções científicas.

Abordaremos um exemplo de concepções equivocadas sobre o conceito de campo elétrico que Furió e Guisasola questionam:

**Item 1.** No ponto P do espaço perto Q (Fig.1a) temos representado o valor da intensidade de campo  $E$  de tal ponto. O que seria a representação correspondente à intensidade do campo elétrico neste ponto, se uma pequena carga negativa é colocado lá (Fig.1b)? Desenhe isso e explique sua resposta ( Furió; Guisasola 1998, p. 524).



Não está anexado ao material as representações realizadas pelos alunos, apenas as análises através de tabelas. Uma vez que, os autores organizaram os dados em duas categorias, a Categoria A, as respostas corretas em que estivesse especificado que a intensidade do campo vetorial depende da carga que cria o campo, onde os alunos da G3 (alunos primeiro ano de graduação em Ciências Física) acertaram 37%; e G4 (alunos terceiro ano de graduação em Ciências Física) acertaram 64%. Nas respostas erradas os alunos apontavam que o vetor intensidade de campo e a força elétrica do vetor, vão no sentido oposto, se atraindo.

Constatando que o elevado nível de falha pode ter ocorrido devido a uma falta no raciocínio dos alunos, e que os conceitos de força elétrica e intensidade do campo elétrico estão ligados epistemologicamente, porém os estudantes, com base na definição, estabeleceram a proporcionalidade entre força e intensidade e transformaram em uma equivalência.

Estas dificuldades levantadas têm uma relação estreita com visualização espacial e portanto, consideramos que o emprego de recursos computacionais que façam uso de representações de vetores de força, campo, fluxo elétrico bem como a interação entre estas representações dentro de uma visão unificadora do conceito de energia e trabalho sejam fatores importantes para uma melhor compreensão do eletromagnetismo.

Souza et al. (2013) apontam as concepções e as dificuldades dos alunos referente o conceito de vetor campo elétrico na engenharia, uma vez que a interação é complexa devido a visualização e a noção abstrata de campo elétrico.

Saglam e Millar (2006) apontam que estudantes do ensino médio confundem campo elétrico com campo magnético. Maloney et al. (2001) estudaram a compreensão dos alunos de um curso de física, antes e depois da disciplina de eletromagnetismo da graduação, e concluíram que alguns conceitos eram predominantes e difíceis de alterar, mesmo após o termino da disciplina e que as concepções estavam enraizadas no senso comum.

Criado e García (2010) apontam as dificuldades dos alunos acerca dos fenômenos de eletrostática em relação a carga elétrica, onde trabalharam com uma abordagem didática embasada na atividade orientada para o aprendizado e diminuição da incerteza conceitual.

Os autores Saarelainen, Laakso e Hirvonen (2007) também apontam que a compreensão imatura de campos elétricos e magnéticos como campos de vetores é uma das razões que podem ser usadas para explicar as dificuldades dos estudantes em relação aos perfil conceitual de

Coulomb e Maxwell, uma vez que a maioria dos estudantes não tem compreensão e diferença do conceito de campo elétrico, linhas de campo e força elétrica.

Dentro desta ótica existe um problema educacional no Ensino da Eletrostática que apresenta carências ontológicas e epistemológicas, o qual dificulta a aprendizagem referente ao conceito, pois o ensino tradicional aborda os conceitos de eletrostática de forma linear, não trabalhando com os saltos qualitativos ocorridos. Sendo assim, proporcionam aos alunos visões distorcidas da ciência (FURIÓ; GUIASOLA, 1998).

Existe uma resistência dos alunos, tanto do ensino básico quanto do ensino superior, em relação à distinção da força elétrica no contexto Coulomb e no contexto de Maxwell, gerando dificuldades em compreender os conceitos de intensidade do campo elétrico e força elétrica (FURIÓ; GUIASOLA, 1998). Os alunos possuem problemas na utilização dos conceitos, como carga, diferença de potencial e capacidade elétrica, os quais não são utilizados, cientificamente, quando interpretam os processos de cargas de um corpo, indicando problemas no estudo da eletricidade (GUIASOLA et al., 2008).

E que muitas vezes os alunos utilizam o senso comum, sendo caracterizado pela falta de coerência nas análises em relação às diferentes situações, e que estas explicações possuíam falta de consistências e interpretações científicas para descrever os fenômenos eletrostáticos (FURIÓ; GUIASOLA e ALMUDÍ, 2004).

### **3.2.3 Recursos computacionais**

Nesta categoria relacionamos trabalhos que investigam o uso de recursos computacionais nas aulas de física associados a Eletrostática. Apontando que estes recursos estão disponíveis como metodologias que auxiliam o Ensino de Física.

Hoje em dia a informática tem uma aplicação múltipla no Ensino de Física, sendo utilizada em medições, gráficos, apresentações, modelagens, animações e simulações apontado como uma solução para os problemas enfrentados em sala de aula (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Contudo é preciso ter clareza sobre os recursos computacionais devido as diferentes interpretações a respeito da modelagem computacional, simulações computacionais e animações computacionais. Araujo e Veit explicitam que:

Modelagem computacional é o processo de construção, implementação e uso de uma simulação (modelo) computacional, a partir, principalmente, de modelos lógicos (regras lógicas), matemáticos (equações) ou icônicos (metafóricos). A construção de simulações computacionais com os aplicativos Worldmaker, Modellus e Powersim, respectivamente, ilustra esse processo;

Simulações computacionais, sinônimo de modelos computacionais, são versões computacionais de representações de conceitos fatuais (com base empírica) ou formais (matemáticos);

Animações computacionais são representações gráficas de elementos visuais em movimento (ARAUJO; VEIT, 2008, p. 2).

Diante disso, estes recursos podem ser explicitados através de atividades exploratórias ou expressivas. Nas atividades exploratórias, o aluno recebe pronta a simulação ou animação computacional, nas atividades expressivas a interatividade é maior, uma vez que o aluno constrói seu modelo computacional. A utilização de uma boa ferramenta está relacionada em como utilizá-la adequadamente em sala de aula, sem que seja apenas uma estratégia de entretenimento para os alunos (ARAUJO; MOREIRA e VEIT, 2007).

Neste caso, no ensino, as teorias e práticas ligadas a informática propiciam mídias digitais, objetos, espaços e instrumentos capazes de substituir as situações de interação, criação, comunicação e colaboração, conduzindo a algo diferente dos meios impressos (SERAFIM; SOUZA, 2011). As visualizações interativas dos fenômenos podem ajudar os alunos a compreenderem os conceitos estudados em questão (WU; KRAJCIK e SOLOWAY, 2001).

Os modelos e as simulações possibilitam ao estudante prever qualitativamente o fenômeno, facilitando a interpretação dos acontecimentos de difícil compreensão ou abstração e uma ótima abordagem para experimentos que são difíceis ou impossíveis de serem realizadas na prática (FIOLHAS; TRINDADE, 2003). O computador é assim usado como uma ferramenta para resolver problemas que de outra forma seriam muito difíceis de enfrentar, como um meio de simulação e visualizando diferentes situações, e também como meio de coleta de informações, avaliando e fornecer feedback rápido (ERSOY; DILBER, 2014).

Casperson e Linn (2006) investigaram que os efeitos da visualização no computador dos fenômenos na eletrostática aumentaram a compreensão e capacidade dos alunos sobre a visão microscópica e macroscópica do eletromagnetismo.

Em torno da necessidade de conhecer diferentes recursos computacionais e investigações em relação ao eletromagnetismo, apontamos os autores Gagnon (2011), Santos; Santos e Fraga (2002), Rocha e Andrade Neto (2013), Weiss e Andrade Neto (2006) em virtude de que o uso de simulações computacionais contribui para uma melhor compreensão dos conceitos da física, e os alunos percebem o computador como um instrumento motivador que facilita a aprendizagem (ARAUJO; VEIT, 2008).



Nessa perspectiva, Gagnon (2011) trabalhou com alunos a visualização dos conceitos de campos elétrico e magnético, através do *software Simulateurs-maison* – EMF, que, por intermédio da simulação, facilitou a compreensão dos estudantes em relação aos movimentos de partículas carregadas no campo elétrico e magnético, no qual juntos os alunos passaram a compreender melhor a relação entre campos e partículas carregadas.

Focando em recursos que dão suporte no processo de aprendizagem da física, Santos; Santos e Fraga (2002) trabalharam com a Visualização Científica (VC) e a Realidade Virtual (RV) por intermédio do *software* experimental *Electras - Electric Charge Training System*, abordando uma investigação entre a interação e visualização de cargas elétricas, carga de prova, campo elétrico e linhas de força através de situações-problema vivenciadas pelos alunos no dia a dia, fornecendo aos alunos grandes e complexos conjunto de dados com uma avançada interface computacional para modelos 3D.

Guiados pelos aportes teóricos da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud – TCC e da Teoria da Mediação Cognitiva – TMC, Rocha; Andrade Neto (2013), apresentam uma pesquisa por meio de uma simulação computacional do programa *PhET Colorado* “Taxas e Campos” com discussão acerca de carga e campo elétrico, apontando uma evolução cognitiva sobre o aprendizado de campo elétrico. A atividade consistia com situações problema e entrevistas, simulação computacional, por fim, novamente o desenvolvimento de questões problema e entrevistas, referentes aos conceitos de cargas elétricas e campo elétrico.

Weiss e Andrade Neto (2006) também aplicaram para a produção dos dados questionários escritos e entrevistas (pré-teste, guia de simulação, pós-teste e entrevista), e utilizaram o *software Modellus25BR* para analisar se ocorreu uma evolução conceitual com alunos do terceiro ano do Ensino Médio, por meio da discussão de força eletrostática, princípio da atração e repulsão em situações de eletrostática, campo elétrico e potencial eletrostático.

Lopez e Silva (2015) realizaram uma investigação com alunos de Engenharia por intermédio de um questionário inicial para descobrir quais modelos mentais iniciais os estudantes possuíam em relação a força e campo elétrico. Utilizaram a metodologia de aprendizagem cooperativa – Aprender juntos – com tarefas específicas, por intermédio do *WQ - WebQuest*, possibilitando aos alunos consultar e pesquisar na internet, para responder cada tarefa. Por fim, foi aplicado um questionário final para descobrir se ocorreu efetivamente transformação dos modelos mentais iniciais para modelos efetivos.

Através de entrevistas Gire (2014), trabalhou com a construção de representações para resolver problemas de campo elétrico, usando uma simulação computacional em relação a superposição de vetores, com a metodologia *WYSIWYG - What-You-See-Is-What-You-Get*, ou

seja, “O que você vê é o que você obtém”, permitindo verificar o raciocínio que os alunos possuíam para representar a superposição dos vetores do campo elétrico fazendo comparações no espaço e na magnitude através da observação da superfície.

Cao e Brizuela (2016) trabalharam com a simulação do Hockey elétrico de Campo no *PhET Colorado* com alunos do ensino fundamental da China onde trabalharam com a visualização de linhas de campo elétrico através do computador, onde simula as forças elétricas através de bolas carregadas eletricamente, com a simulação é possível trabalhar linhas de campo, força vetorial e trajetórias, onde até o momento ainda não existe nenhum estudo empírico a respeito. Cujo objetivo era expor os alunos aos fenômenos de interação elétrica e dar oportunidade a esses alunos de produzir representações de interações.

Samsudin et al. (2016) trabalham com pré e pós-teste aliado ao modelo ALBICI - *Active Learning Based - Interactive Conceptual Instruction*, composto pela exploração experimental através de várias fontes de aprendizado como livros, computador, multimídia e materiais de pesquisa com o modelo PDEPDE - Predizer – Discussão – Explicar – Observar – Discussão - Explorar – Explicar -, com professores de Física investigando a mudança conceitual com simulação computacional sobre campo elétrico de objetos carregados positivamente e negativamente, potencial elétrico e vetor campo elétrico.

Linn e Casperson (2006) investigaram através de Projeto com alunos do Ensino Médio a interação das partículas ocorridas na eletrostática por intermédio da integração da visão macroscópica e microscópica com pré e pós-teste através no ambiente WISE – *Web-based Inquiry Science Environment* utilizando a técnica P.O.E (Predizer, Observar e Explicar), com a captura das respostas os professores analisavam as conexões entre ideias respondidas pelos alunos, onde resultavam em pontuações de integração de conhecimento a respeito da compreensão da eletrostática.

Souza et al. (2013) a partir das dificuldades dos alunos, os autores trabalharam a visualização 3D através do *Blender* que é um *software* livre e de código aberto para modelagem e animação em 3D, com um mecanismo de renderização baseado em física – *Cycles* - com alunos do curso de engenharia, o estudo de vetor campo elétrico, cujo objetivo estava em melhorar a compreensão do aluno e o envolvimento, onde os alunos utilizam as visualizações como um acesso rápido ao conteúdo, bem como a capacidade de usá-lo como autoavaliação.

Medeiros e Medeiros (2002), apontam que é preciso ter cuidado com as simulações, devido as imagens distorcidas que possam apresentar da realidade, dado que uma animação não é jamais, uma cópia fiel da realidade, as vezes os alunos são iludidos pelas belezas e pelo

fascínio da realidade virtual em certas simulações, acarretando em nunca perceber a compreensão real da situação.

É importante que as simulações retratem as representações envolvidas nos fenômenos em estudo, e, sendo nesta perspectiva, consideramos que a utilização de metodologias de ensino, como o uso de recursos computacionais, auxilia os alunos na aprendizagem destes conceitos. Santos; Santos e Fraga (2002) apontam que a visualização científica é considerada como um campo multidisciplinar, que trabalha como uma ferramenta auxiliar que incentiva pesquisas e processo educacional.

Para que essa mediação seja significativa, o professor precisa ter um planejamento envolvendo os conceitos e objetivos que se pretende alcançar com a atividade, além disso “é importante não esquecermos de que a tecnologia possui um valor relativo: ela somente terá importância se for adequada para facilitar o alcance dos objetivos e se for eficiente para tanto” (Masetto, 2003, p. 144), e “a escolha de situações adequadas que possam desencadear o processo de conflito cognitivo capaz de mobilizar os estudantes ao aprendizado” (ROCHA; ANDRADE NETO, 2013, p. 10).

A fim de apontar os resultados significativos Lopez e Silva (2015), Weiss e Andrade Neto (2006), Rocha e Andrade Neto (2013), evidenciam que a utilização de recursos computacionais produziu resultados positivos no Ensino da Física, auxiliando na evolução conceitual, na reflexão, aproximando os alunos dos conceitos científicos relacionados ao campo elétrico e força eletrostática. Finkelstein et. al (2005) apoiam que devido a indisponibilidade de equipamentos de laboratórios os uso de simulações virtuais sobre fenômenos eletrostáticos contribuem para substituir os fenômenos do mundo real.

Destacando a atividade de Shenn e Linn (2011), é necessário trabalhar o desenvolvimento do aluno em todos os aspectos e, através das mais variadas linguagens, ferramentas digitais, entre outros, desenvolver no aluno a pluralidade. Com certeza, estaremos auxiliando na formação da cidadania, pois cidadãos são aqueles que vivem na realidade e nela agem, possuindo a visão da totalidade que a cerca e relacionando-se no aqui e agora.

Em virtude, do recurso computacional escolhido para este trabalho estar relacionado ao GeoGebra, apontamos uma revisão a seguir.

### 3.2.4 GeoGebra

GeoGebra é um *software* de matemática que reúne a geometria, álgebra, tabelas e o cálculo. Iniciado por Markus Hohenwarter, em 2001 na Universidade de Salzburg, na Áustria, para educação matemática nas escolas, a fim de aprender e ensinar matemática. O GeoGebra na física permite ao professor explorar a matemática por trás do fenômeno físico sem omiti-la (CARMO, 2017).

Ele permite a realização e construção tanto de pontos, vetores, segmentos, retas, seções cônicas como funções que podem se modificar posteriormente de forma dinâmica, permitindo achar derivadas e integrais de funções e oferecendo comandos, como raízes e extremos. Sendo assim, o GeoGebra tem a capacidade de trabalhar com variáveis vinculadas a números, vetores, pontos permitido analisar, conjecturar e estabelecer hipóteses.

Sua utilização traz vantagens como movimentar as figuras em diversas direções, comparar e voltar ao aspecto inicial, proporcionando buscar diversos caminhos de resolução de problemas, servindo para verificar se o que foi feito pelos alunos está correto.

Na página do GeoGebra é possível encontrar simulações relacionados aos conceitos de Matemática e Física, sendo disponibilizado gratuitamente para os professores e estudante da Educação Básica e Superior, não necessitando de domínio de informática para executá-lo, sendo uma vantagem em relação a outros *softwares*.

Envolvendo o GeoGebra “Campo elétrico de cargas puntiforme”, empregado neste trabalho, não localizamos nenhum material que fizesse referência, discutindo ou analisando a simulação em sala de aula. Na área do eletromagnetismo, encontramos apenas o trabalho de Hanc et al. (2011), que afirmaram que o GeoGebra é uma ferramenta altamente eficaz na visualização e na correta compreensão dos modelos físicos, envolvendo a eletricidade e magnetismo.

Hanc et al. (2011), apontam que os alunos apresentam equívocos na definição de vetores de força elétrica e campo elétrico, o GeoGebra oferece a oportunidade de desenvolver a definição dos gráficos e ações. Porém, sem relatos do desenvolvimento da atividade, apenas como uma citação de utilização dentro do GeoGebra.

Sobre os conceitos de vetores e plano cartesiano, Mello e Silva (2012) trabalharam com o GeoGebra atividades na disciplina Geometria Analítica I e perceberam que os alunos demonstraram o desenvolvimento das habilidades características do pensamento matemático, como formular hipóteses e argumentos para resolver os problemas e apropriação dos conceitos

envolvidos pelas representações extraídas das situações pela utilização do ambiente virtual pelos alunos.

O diferencial do GeoGebra está na representação, visualização e movimentação dos objetos, em que permite aos estudantes que construam conceitos geométricos. Esse é um importante recurso didático no processo de ensino e aprendizagem da matemática (DALL'ALBA; KAIBER, 2015). Os alunos desenvolvem, assim, habilidades para a investigação e a compreensão do papel sociocultural da Matemática, sendo eles agentes potencializadores na mobilização e compreensão de alguns conceitos matemáticos com o uso de tecnologias (SIMON; DALCIN, 2016).

GeoGebra é destacado por Medeiros (2012) como sendo um *software* gratuito, de fácil utilização e instalação. Além disso, seu uso é dinâmico para o ensino, visto que proporciona uma visualização, construção e a argumentação das relações geométricas. Barbosa et al. (2017) ressaltam que o GeoGebra permite conceber um cenário novo através de análises das figuras geométricas em variadas posições, uma vez que as construções não são fechadas e nem estáticas. Dessa forma, levam o aluno a ultrapassar expectativas, ampliando e aprofundando seus conhecimentos.

Nesse sentido, o GeoGebra é um excelente recurso computacional, e adequado para atingir o objetivo desse trabalho.

### **3.2.5 Gestos**

Nesta categoria relacionamos trabalhos que investigam a análise gestual relacionado aos conceito de física associados a Eletrostática.

A interpretação dos gestos pode fornecer informações que não são identificadas apenas através da fala. Wolff (2015) afirma isso com o intuito de reforçar a importância da associação gestual e verbal na transmissão de informações, sem que tais recursos empregados durante a explicação sejam redundantes. Onde a informação transmitida gestualmente está relacionada com a transmitida verbalmente, sem que ambas devam ser necessariamente a mesma informação informada. Portanto, os gestos podem auxiliar na transmissão de informação sempre que houver dificuldade de expressão verbal.

Weliweruya, Sayre e Zollman (2018) trabalham com alunos na disciplina de Eletromagnetismo a resolução de problemas de física onde verificam se os alunos são capazes de combinar múltiplos recursos semióticos como ações, materiais e artefatos para a comunicação através de modos visual, verbal, escrito e gestual. E na análise de um aluno, ele

utiliza a mão como um recurso semiótico gestual para mostrar o campo magnético em relação a direção. Levando a concluir que o envolvimento de todos os artefatos auxilia na construção de significados da física, conectando as ideias e as representações que melhor conseguem exprimir um determinado conceito de física.

Laburú, Silva e Zòmpero (2015) observaram através da gesticulação de um aluno em uma análise referente ao laboratório em uma atividade experimental de eletrização por contato e indução em dois cilindros, que é viável analisar as ações exteriorizadas por eles em relação aos conceitos científicos, porém é preciso que o professor cruze essa análise com outras representações, como as verbais.

Os autores entendem através da investigação que os conhecimentos científicos passam pela atuação gestual, explorando assim a importância dos gestos para o ensino e aprendizagem e não apenas a forma verbal oral e escrita apontando que a gesticulação contribui não só como instrumento para o professor observar se os alunos estão aprendendo como também compreender a elaboração do pensamento sobre o conhecimento (LABURÚ; SILVA E ZÕMPERO, 2015).

Kim, Roth e Thom (2011) sugerem que além da imagem convencional estática e abstrata de ensinar e aprender voltada a representação verbal precisa ser repensada pelos professores. Flood et al. (2014), Arzarello et al. (2009) e Roth (2001) apontam que o uso de gestos também é útil no processo de criação de significado.

### **3.2.6 Imagens mentais**

Nesta categoria relacionamos trabalhos discutem o uso de representações mentais no ensino de física. De acordo com Moreira (1996) as representações mentais são formas utilizadas para representar internamente o mundo externo, no qual as pessoas não captam o mundo exterior diretamente, mas sim constroem representações mentais. Porém, incertezas sobre as representações cognitivas, ainda anseiam por respostas pois são a base da discussão entre as representações analógicas e as representações proposicionais.

*As representações analógicas* são não-discretas (não-individuais), concretas (representam entidades específicas do mundo exterior), organizadas por regras frouxas de combinação e específicas à modalidade através da qual a informação foi originalmente encontrada. *As representações proposicionais* são discretas (individuais), abstratas, organizadas segundo regras rígidas e captam o conteúdo ideacional da mente independente da modalidade original na qual a informação foi encontrada, em qualquer língua e através de qualquer dos sentidos (MOREIRA, 1996, p. 195).

As duas representações buscam apresentar respostas para os questionamentos relativo à forma como o conhecimento é alcançado, processado e utilizado de forma posterior. A imagem visual é o exemplo típico de representação analógica, mas há outras, como as auditivas, as olfativas, as tácteis.

As imagens mentais deixam claramente informações subtendidas na memória, no qual não é a única maneira que a memória tem de recuperar informações (MOREIRA, 1996). As imagens mentais podem antecipar as informações relacionadas com campo elétrico e vetores permitindo que a simulação computacional seja real.

As imagens mentais não são rígidas e fixas e podem sofrer alterações mentalmente.

Uma imagem é suscetível de contínuas transformações mentais, tais como rotações ou expansões, nas quais os estados intermediários correspondem a estados intermediários (ou ponto de vista) de um objeto real que sofre as transformações físicas correspondentes. Assim, uma pequena mudança na imagem corresponde a uma pequena mudança no objeto (ou sua aparência) (LAGRECA, 1997, p. 11).

Anderson (1978) cita que, ao representar uma frase através de imagens mentais, estas imagens representariam o significado, mas não necessariamente a forma original. Para Otero (2004) é uma forma de comunicação mais livre e menos formalizada, permitindo concretizar ideias.

Consideramos em nosso trabalho que as imagens mentais são criadas a partir de informações armazenadas na memória, cujo objetivo é verificar evidências se ocorreu modificação e/ou construção destas imagens relacionadas ao campo elétrico no decorrer da atividade desenvolvida.

Uma vez que estas imagens adquiridas no meio externo, quando passam a ser utilizada como imagem mental, é facilmente modificada, podendo estar associada a outras informações que fazem parte da estrutura cognitiva. Assim sendo, consideramos que uma imagem mental não será uma cópia da percepção visual de objetos externos, mas resultado do processo interpretativo do estudante, onde o resultado depende também do seu conhecimento.

### 3.3 IMPLICAÇÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA NA PESQUISA

Na revisão bibliográfica, fica evidenciado um levantamento de trabalhos, em que aborda-se uma visão da investigação relacionada a eletrostática no Ensino de Física, na

pretensão de observar, analisar e contribuir nas pesquisas desenvolvidas para a discussão e construção da ciência.

Com base nos artigos levantados na categoria concepções dos alunos acerca da eletrostática, retratamos os obstáculos de aprendizagem enfrentados pelos estudantes em relação aos conceitos de carga elétrica, campo elétrico e vetor força, dado que o estudo de fenômenos físicos relacionados à eletrostática é mais abstrato que os fenômenos mecânicos, causando um desconforto nos alunos, devido a visualização e à dificuldade que eles possuem em criar e usar representações Furió; Guisasola e Almudí (2004), Furió e Guisasola (1998; 2001), Furió et al. (2002), Gagnon (2011), Guisasola et al. (2008), Guisasola e Furió (1998), Martin e Solbes (2001).

Muitas dessas dificuldades foram levantadas por Furió; Guisasola e demais colaboradores ao longo dos anos de 1997 a 2008, os quais, neste período de mais de uma década, se debruçaram consistentemente em pesquisar a área de aprendizagem da eletrostática e eletromagnetismo. Os trabalhos publicados no decorrer desses anos, os autores abordaram as dificuldades de aprendizagem que os alunos enfrentaram em relação aos conceitos, tanto no nível ontológico (pensamentos dos estudantes) quanto epistemológico (desenvolvimento histórico), referentes à compreensão dos fenômenos do sistema cognitivo do discente e a formação desses conceitos ao longo do processo histórico.

Todo material desenvolvido nas atividades, bem como as previsões e observações realizadas pelos alunos, foram entregues aos professores em forma de relatórios, através de justificativas e explicações das conclusões. De posse deste material, os professores verificaram quais raciocínios os alunos utilizaram quando enfrentaram as situações-problema (FURIÓ et al., 2002).

Para trabalhar com essas situações, a metodologia estava voltada na investigação e a resolução de problemas, através do conhecimento do problema, planejamento, hipóteses, identificação das variáveis, estratégias de resolução, registro, interpretação, uso de fórmulas. Os autores se basearam nas concepções da aprendizagem corporativa de Wheatley (1991), com a separação de um tripé envolvendo a Tarefa, Aula estruturada e Interações (FURIÓ et al., 2002).

A proposta desses autores em trabalhar com os esquemas conceituais acerca das concepções científicas, adotando metodologias que focassem em uma construção ativa voltada à aquisição dos conceitos científicos relacionados aos conceitos do campo na eletrostática, proporciona, através das interações entre professores e colegas, uma verificação das pré-concepções destes alunos e qual o caminho deve-se tomar para que ocorra uma aprendizagem.



Medeiros e Medeiros (2002) referem-se que os gestos e as ilustrações adicionais no quadro-negro promovidos pelos professores em sala de aula, não são suficientes para aqueles alunos que não conseguem compreender os fenômenos da eletrostática, sendo que as animações no computador são possibilidades de auxílio na aprendizagem destes conceitos.

Os estudos realizados por Weiss e Andrade Neto (2006) e Rocha e Andrade Neto (2013), exploraram conceitos e aplicações de eletrostática com a utilização de *software*, onde ambos utilizam pré-teste, guia de simulação com a técnica P.O.E (Predizer, Observar e Explicar), pós-teste e entrevista semiestruturada.

Lopez e Silva (2015) comparam os modelos mentais realizando um momento inicial antes da interação didática com a metodologia *WebQuest* e um momento posterior a aplicação com a realização de entrevista semiestruturada na busca por compreender o modo que as transformações ocorriam.

Gire (2014) também realizou entrevistas semiestruturadas na condição dos alunos pensarem em voz alta sobre o desenvolvimento das atividades, os alunos articulavam de maneira confortável com seu pensamento, podendo assim, a autora explorar as representações que os estudantes estavam realizando em relação aos mapas mentais de vetores campo elétrico. Onde a simulação permitiu os alunos a organizarem, armazenarem e exibirem informações sobre o campo elétrico.

A respeito dos recursos computacionais utilizados como estratégias didáticas no ensino de eletrostática apontamos na revisão: *Simulateurs-maison – EMF* de Gagnon (2011); *Software experimental Electras -Electric Charge Training System* de Santos; Santos e Fraga (2002); *PhET Colorado “Taxas e Campos”* de Rocha e Andrade Neto (2013); *Software Modellus25BR* de Weiss e Andrade Neto (2006) e *Software WQ – WebQuest* de Lopez e Silva (2015) que evidenciaram avanços significativos na utilização em sala de aula, devido a uma interação maior com os recursos, auxiliando na evolução conceitual de aprendizagem dos conteúdos de eletrostática.

As contribuições de Rocha e Andrade Neto (2013), ao utilizarem a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (TCC), associada à Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), expondo nas análises uma mudança conceitual por parte dos estudantes em que os alunos do grupo controle continuavam com *drivers* psicofísicos culturais e os estudantes do grupo experimental, que foram submetidos à intervenção do *software*, evidenciaram mudança cognitiva devido a esse processo, caracterizada pela aquisição de *drivers* hiperculturais.

Direcionando a utilização do GeoGebra, ele permite a visualização, mudança de perspectiva e a movimentação dos objetos, auxiliando verificar figuras em posições variadas, e

suas construções não são fechadas, estáticas, podendo surgir diversas interferências, em que os alunos possam ultrapassar expectativas ampliando e aprofundando seus conhecimentos.

Diante desses estudos, estabelecemos pontos pertinentes que colaboram para a pesquisa, levando à discussão que é oportuno utilizar mecanismos externos de mediação computacionais que auxiliam cognitivamente o estudante a construir representações científicas e imagens mentais que representem estes conceitos, adequadamente (DALL'ALBA; KAIBER, 2015).

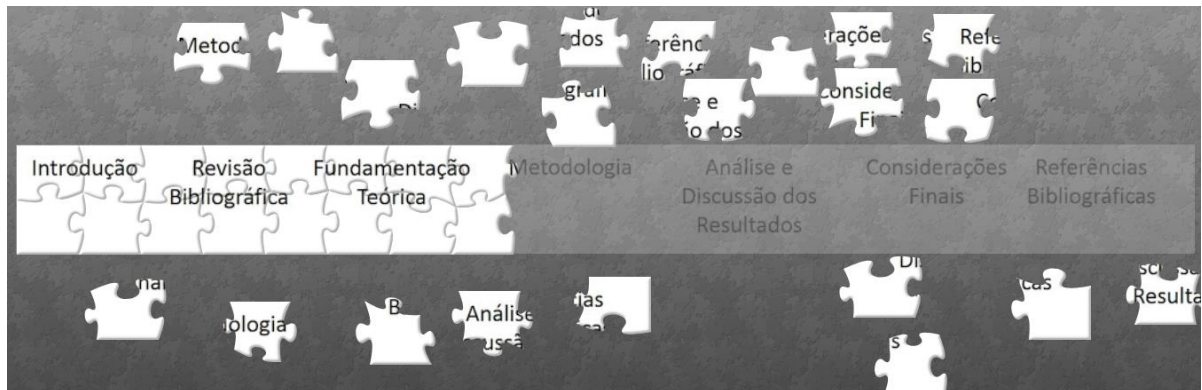
Dessa maneira, apontamos o uso de recursos computacionais como um procedimento que contextualiza e estabelece conexões entre as situações-problema e os fenômenos estudados. Logo, as situações-problema permitem a interação com o recurso computacional, promovendo a interação social entre o aluno, o professor e a reflexão por parte do aluno sobre os resultados encontrados.

Uma vez que, a aprendizagem vai além da memorização baseada em atividades, já que o conhecimento não é meramente instalado ou transferido, mas, sim, construído e reconstruído em virtude de que a interação com o professor é uma necessidade indispensável, por mais que as simulações possam ser ricas em imagens e em cálculos, são pobres em sua dimensão social (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Por isso, como encadeamento, a partir da revisão bibliográfica, findamos com a proposta de Zacharias e Anderson (2003), com a premissa de que a utilização de uma simulação computacional deve ser interativa e focada no tópico específico a ser aprendido. Permitindo, portanto, a modificação de variáveis associadas ao fenômeno, admitindo ao aluno realizar observações durante a simulação, do qual não contenham elementos desnecessários que dispersem a atenção, que sejam fáceis de manipular e tenham um formato simples.

A seguir, será tratada a fundamentação teórica adotada nesta pesquisa.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA



Fonte: A pesquisa.

Este capítulo aborda uma discussão sobre as razões que nos levaram a optar pelo uso da Teoria da Mediação Cognitiva e da Teoria dos Campos Conceituais para investigar quais mecanismos externos de mediação o aluno utiliza para determinar situações-problema do campo conceitual da eletrostática com alunos universitários, de uma Instituição do Ensino Superior privada do Rio Grande do Sul.

A origem destes referenciais está centrada em dois autores - a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) apresentada por Bruno Campello de Souza (2004) e a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) apresentada por Gérard Vergnaud (1990), onde focamos nas mediações da TMC e as situações, conceito da TCC, uma vez que partimos da premissa originada em Vergnaud, mas aceita por ambos corpos teóricos de que um conceito não se forma dentro de um só tipo de situação. Selecionamos artigos e livros que relatam as teorias de Souza (2004) e Vergnaud (1990) para descrever.

#### 4.1 A TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA – TMC

A cognição humana se dá pela interação com o ambiente que fornece à estrutura cognitiva uma capacidade adicional de processamento por meio do mecanismo de mediação psicofísica, social, cultural e hipercultural. A mediação pode ser definida como um conjunto de conceitos, esquemas e competências mais amplos que possibilitam facilidade na representação e manipulação do saber com maior quantidade e variedades de mecanismos de registros (SOUZA, 2004). Além disso, é capaz de decompor, distribuir, gerenciar e recompor tarefas cognitivas ao longo de diferentes mecanismos de mediação interna e externos utilizados. A seguir apresentaremos a Teoria da Mediação Cognitiva.

##### 4.1.1 Fundamento das TMC

A TMC é uma teoria contextualista e construtivista, fundamentada e embasada em quatro aportes teóricos influentes que objetivam explicar as diversas manifestações do intelecto humano em termos de desenvolvimento, funcionamento e desempenho a Epistemologia Genética de Jean Piaget, a Teoria dos Campos Conceituais de Gerard Vergnaud, o Sócio-Construtivismo de Lev Semenovitch Vygotsky e a Teoria Triárquica da Inteligência de Robert J. Sternberg. Uma das aplicações especial da TMC é a compreensão das mudanças individuais

ou coletivas associadas à introdução das novas tecnologias, como ferramentas externas ao pensamento dos indivíduos.

O foco da fundamentação teórica está na compreensão da comunicação dos *drivers*<sup>7</sup> e imagens mentais com os conceitos do campo conceitual da eletrostática no Ensino Superior. Para isso, utilizaremos a Teoria da Mediação Cognitiva – TMC (SOUZA, 2004), que emprega uma abordagem baseada no processamento de informações, que busca explicar o funcionamento da cognição humana, seu desenvolvimento e relações com a sociedade, a cultura e a tecnologia, já que os processos mentais de um indivíduo ocorrem a partir do processamento de informações por estruturas em seu ambiente, agindo como *templates* para agregar informações. A TMC busca explicar os impactos das tecnologias digitais no pensamento humano, apresentando uma visão da cognição como um fenômeno de processamento de informações, sendo que uma boa parte desse processamento é feita fora do cérebro.

Souza (2004) aponta que o sistema cognitivo básico envolve apenas o sujeito cognoscente, ambiente e objeto cognoscível. O *sujeito cognoscente* refere-se aos mecanismos internos de mediação, codificação e decodificação de representações. *Ambiente* abrange processos mediativos, fornecimento de pressupostos que dão sentido a “*ill defined problems*”, compressão de dados, filtragem de ruído, correção de erros e processamento auxiliar (I/O, Memória, Operações lógicas). Já o *objeto cognoscível* são as características, propriedades e atributos.

Assim, propõe-se que seres humanos adquirem conhecimento acerca de objetos através da interação com eles e também por meio da ajuda de estruturas no ambiente que fornecem capacidade de processamento adicional aos seus cérebros. Logicamente, isso requer uma combinação entre sistemas externos capazes de processamento de informação e mecanismos mentais internos que permitam o seu uso (RAUPP et al., 2010, p. 20-21).

Dessa maneira, a cognição humana dá-se pela interação com o ambiente. Este fornece à estrutura cognitiva uma capacidade adicional de processamento por meio do mecanismo de mediação, com um conjunto de conceitos, esquemas e competências mais amplo. Isso possibilita facilidade em representar e manipular o saber com maior quantidade e variedades de mecanismos de registros, permitindo decompor, distribuir, gerenciar e recompor tarefas cognitivas ao longo de diferentes mecanismos de mediação interna e externa usados.

---

<sup>7</sup> O leitor pode considerar que “*drivers*” são apresentados pela Teoria da Mediação Cognitiva como “máquinas virtuais” internas, armazenando informações através da sua interação com mecanismos externos, os *drivers* são acessados pelo cérebro.

A TMC defende que a interação dos mecanismos externos gera mudanças internas, aumentando a capacidade cognitiva do indivíduo, o que resulta no processamento cerebral (SOUZA; ROAZZI, 2007).

A cada etapa da evolução cognitiva, constata-se uma sofisticação e complexidade crescentes dos mecanismos internos e externos da mediação, e a TMC contribui para uma maior compreensão do processo de aprendizagem (SOUZA; ROAZZI, 2007). Logo,

A Teoria da Mediação Cognitiva propõe que os processos mentais de um indivíduo ocorrem, em grande parte, a partir do processamento de informações que é realizado por estruturas em seu ambiente. Isso implica numa extensão da mente para além dos limites da caixa craniana e mesmo do corpo físico do sujeito em questão, constituindo uma entidade de dimensões inconstantes que representa uma verdadeira expansão da consciência e do Eu (SOUZA, 2004, p. 244).

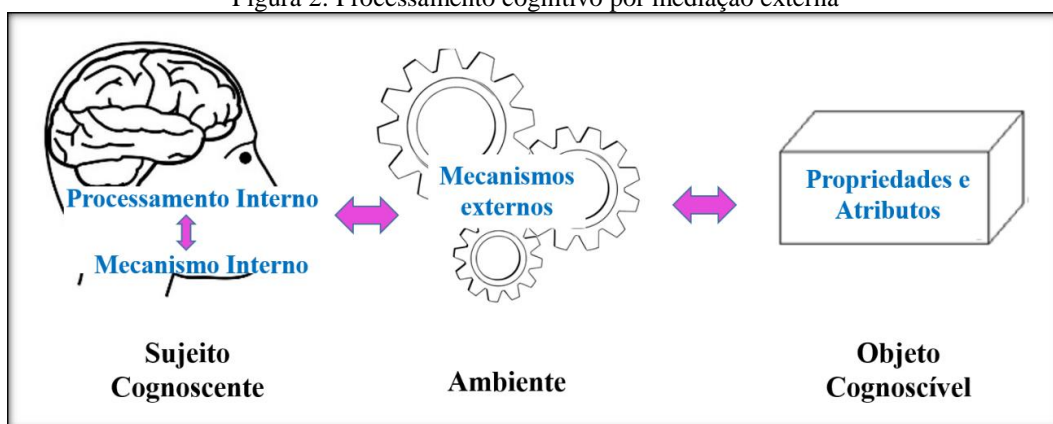
A TMC permite explicar a comunicação entre a estrutura cognitiva do sujeito e o mecanismo externo de processamento de informações mediante representações mentais. O cérebro cria competências específicas para comunicar-se com este mecanismo, propiciando a aquisição de conhecimentos (SOUZA, 2004).

A cognição extracerebral é uma mediação que depende das estruturas externas, as quais complementam o processamento de informações realizado pelo cérebro (SOUZA et al., 2012). Tal mediação é composta por objeto, processamento interno e mecanismos interno e externo.

- *Objeto*: refere-se ao conceito abstrato, problema, situação ou relação em que o indivíduo busca conhecimento, aprendizagem;
- *Processamento Interno*: mecanismo fisiológico que envolve a execução individual do cérebro em operações lógicas;
- *Mecanismos Internos*: também fisiológicos, geram algoritmos que permitem a conexão, a interação entre o processamento interno do cérebro e o processamento extracerebral, que envolve gerenciamento de *drivers*, algoritmos, protocolos, códigos e dados;
- *Mecanismos Externos*: pertencem ao ambiente, podendo ser de diversos tipos e de capacidade variável, indo desde objetos físicos simples (dedos, pedra) até práticas sociais complexas, artefatos culturais e redes de computadores.

A figura 2 mostra o esquema de como ocorre o processamento cognitivo por meio de estruturas do ambiente, responsáveis por fornecerem uma capacidade adicional de processamento de informações.

Figura 2: Processamento cognitivo por mediação externa



Fonte: Adaptação da imagem presente em Souza (2004).

Com isso, surge uma visão da cognição humana como algo sofisticado por tratar-se de um conjunto também sofisticado de mecanismos internos e externos de processamento de informações que, juntos, formam um complexo sistema organizado. A estrutura fundamental da Mediação Cognitiva consiste no conjunto individual de mecanismos internos, o qual torna possível a conexão de estruturas externas como auxiliares de dispositivos de processamento de informações.

#### 4.1.2 Drivers

Na TMC, os *drivers* são considerados como mecanismos internos presentes na estrutura cognitiva do indivíduo que possibilitam a utilização de mecanismos externos. Portanto, os *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 (SOUZA, 2004).

De acordo com Brito (2013), *drivers* são programas responsáveis pela comunicação entre o sistema operacional de computador e o *hardware* conectado a ele. É por intermédio dos *drivers* que o sistema operacional recebe as instruções, as processa e, a partir de então, começa a "conversar" com o periférico. Tecendo-se uma analogia com a computação, tem-se uma abordagem baseada na metáfora computador-cérebro da psicologia cognitiva (RAMOS, 2015).

Para Souza (2004), a mediação cognitiva vai depender diretamente do suporte dos mecanismos internos, ou seja, os *drivers* que terão a capacidade de acessar corretamente os mecanismos externos.

[...] a mediação cognitiva ocorre se e somente se existirem mecanismos internos de suporte à mediação com capacidade de comunicação e controle em relação a eventuais mecanismos de processamento extracerebral, ou seja, quando o indivíduo detém, dentro de si, um conjunto de conhecimentos e habilidades que lhe permitam o acesso e o uso de tais mecanismos externos (SOUZA, 2004, p. 66).

Torna-se claro o fato de que a mediação cognitiva depende diretamente do suporte dos mecanismos internos, *drivers*, para ter a capacidade de acessar corretamente os mecanismos externos. O autor compara os *drivers* à “máquinas virtuais” internas, com um papel importante na definição do pensamento humano, indo além da “conexão” com o mecanismo externo (SOUZA, 2004).

O cérebro, para garantir a mediação cognitiva com um mecanismo externo, formula novas competências específicas que permitem a comunicação. Para que ocorra uma integração entre o processamento de informações realizado pelo cérebro e os mecanismos externos, é preciso dispositivos computacionais que traduzam entradas e saídas, como se fossem instalados *softwares*, “*drivers* de dispositivos” que reconheçam e programem um *hardware* externo.

A mediação cognitiva ocorre relacionando os processos internos e externos à estrutura cognitiva por intermédio dos mecanismos internos mediante os conhecimentos individuais e o acesso e uso de mecanismos externos, possibilitando a aquisição de conhecimentos e desenvolvimento da estrutura cognitiva.

Em relação as imagens mentais<sup>8</sup> elas podem ser estáticas e podem ser dinâmicas, e os *drivers* estão associados as imagens mentais dinâmicas, enquanto as imagens mentais estáticas estão muito mais relacionadas com as representações.

#### 4.1.3 Formas de Mediações

Existem quatro formas de mediação, de acordo com a TMC: a) a *Mediação Psicofísica*, relacionada às características fisiológicas do sujeito com a composição do objeto, bem como à posição espacial de ambos e à natureza do ambiente; b) a *Mediação Social*, quando ocorre a interação com diversos sujeitos em um mesmo ambiente; c) a *Mediação Cultural*, implicando a linguagem, sua organização textual e a capacidade de a sociedade relatar experiências e acontecimentos envolvendo categorizações complexas de ideias e conceitos; e d) a *Mediação Hipercultural*, que se utiliza do acesso à tecnologia, ao computador, às simulações, ou seja, há

---

<sup>8</sup> Discutida no Capítulo 2, seção 3.2.6.



uso de ferramentas tecnológicas (SOUZA, 2004). Essas quatro formas de mediação serão abordadas detalhadamente a seguir.

#### 4.1.3.1 Mediação Psicofísica

A mediação psicofísica seria a sua forma mais básica, resultante das características fisiológicas do sistema nervoso central do sujeito e físico-química dos objetos. Os mecanismos externos resumem-se a eventos físicos, químicos e biológicos e os internos a esquemas sensório-motores (SOUZA et al., 2012).

A mediação psicofísica é considerada como instintiva, a base da mediação, pois o ser humano está sempre recebendo estímulos do ambiente onde ele se encontra. Sua forma inconsciente possuirá várias formas de respostas associadas aos instintos humanos.

A forma mais básica de mediação cognitiva é aquela na qual um indivíduo tem sua interação com os objetos condicionada, essencialmente, pelas características fisiológicas do seu sistema nervoso central, da física e da química dos objetos com os quais se relaciona, da posição espacial de ambos e da natureza do ambiente (SOUZA, 2004, p. 72).

Toda a ação é direcionada num personagem ativo que concomitantemente transforma e é transformado pelos diversos elementos da sua vida. As situações que envolvem mais de um componente, são reduzidas a um conjunto de relações simples com o sujeito, onde tais interações se somam e combinam para produzir um resultado final.

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, pode-se chamar a isso de mediação psicofísica (SOUZA, 2004, p. 72).

Este processamento de informações extracerebrais dado a partir de uma mediação psicofísica seriam então as situações em que as componentes materiais do ambiente contribuem para uma percepção mais eficaz dos aspectos do ambiente.

Souza (2004), Wolff (2015), Trevisan (2017) citam como exemplo de situações em que ocorrem mediações psicofísicas: o vento para captar aromas à distância, a vibração do solo para detectar a aproximação de uma manada de búfalos, as pegadas para rastrear uma presa, o som da sirene de uma ambulância, identificando se ela se aproxima ou se afasta (Figura 3), visualização da fumaça como indicador de fogo, a migração de pássaros como indicador de

mudança de estação do ano, o local em que um indivíduo elege na sua casa para deixar as chaves do seu veículo, para que facilmente sejam encontradas.

Figura 3: Mecanismo externo via mediação psicofísica.



Fonte: A pesquisa.

Outros exemplos de processamento extracerebral via mediação psicofísica seriam todas as situações em que componentes materiais do ambiente contribuem para uma percepção mais eficaz. Exemplo com o foco na nossa pesquisa em que o aluno associa carga elétrica, a carga de um caminhão, ou seja a carga elétrica é uma propriedade da partícula e o peso está relacionado com a capacidade de transporte de carga do caminhão.

Todos esses casos, sejam eles intencionais ou fortuitos, representam instâncias básicas de mediação cognitiva, conseqüentemente *drivers* psicofísicos são criados ou modificados após a ocorrência desse mecanismo externo.

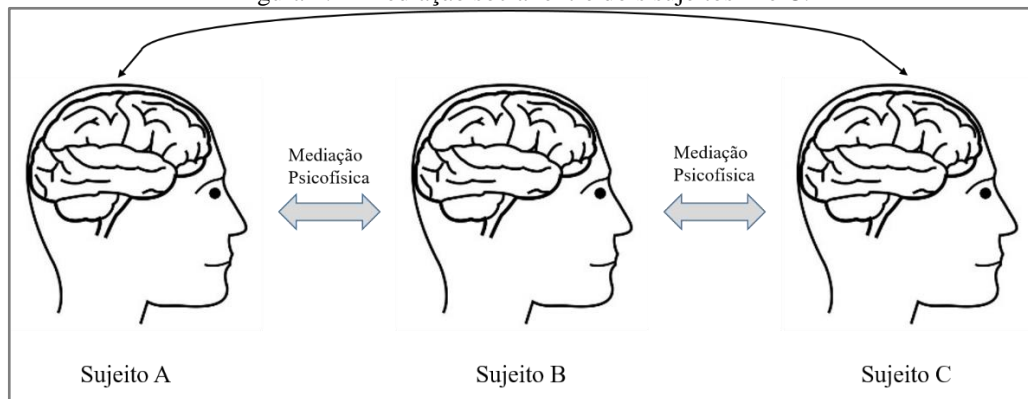
#### 4.1.3.2 Mediação Social

A mediação social, por sua vez, é construída a partir da relação entre os indivíduos, na qual os membros de um grupo agregam, indiretamente, as capacidades perceptivas dos demais membros. Há um compartilhamento – consciente ou não – das percepções e memórias dos membros do grupo (SOUZA et al., 2012).

Quando indivíduos da espécie humana *Homo sapiens* são colocados em um mesmo ambiente, padrões começam a ocorrer devido às interações, possibilitando que as percepções sejam utilizadas pelos demais integrantes do grupo.

Baseado em Souza, consideramos por exemplo, sujeito/objeto A, B e C, à medida em que A interage com B via mediação psicofísica e B interage com C da mesma forma, é possível reduzir isso a uma interação indireta entre A e C. Caso A, B e C estejam em interação devido a algum tipo de convívio social estável, é possível afirmar que se trata de uma verdadeira mediação social entre A e C (Figura 4).

Figura 4: A mediação social entre dois sujeitos A e C.

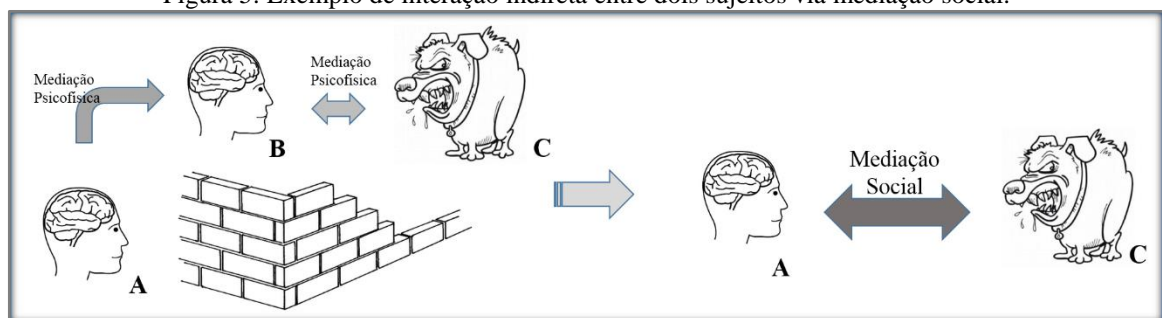


Fonte: Adaptação da imagem presente em Souza (2004).

Quando envolve uma mesma espécie, com padrões sensoriais e comportamentos semelhantes, essa interação indireta cria uma importante vantagem competitiva, os membros de um grupo passam a dispor não apenas das suas próprias capacidades perceptivas, mas também, indiretamente, daquelas dos demais componentes (SOUZA, 2004).

Exemplifica-se a mediação social ocorrida, com base em Souza (2004). Consideremos três sujeito/objetos A, B e C. A e B são representados por dois homens, e C é um cachorro. B consegue visualizar C; A não consegue visualizar C, mas apenas B. Se B tiver um comportamento de fuga ao perceber um ataque do cachorro (C), o sujeito A reagirá ao comportamento de B como se estivesse na presença de C devido à interação indireta que representa a interação social entre estes dois sujeitos (Figura 5).

Figura 5: Exemplo de interação indireta entre dois sujeitos via mediação social.



Fonte: Adaptação da imagem presente em Souza (2004).

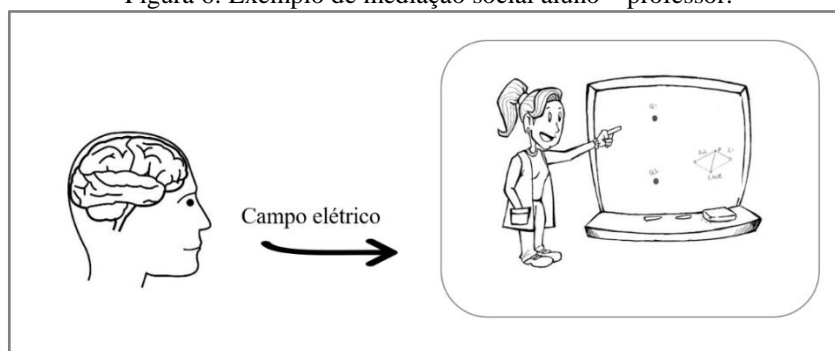
Quando envolve indivíduos com padrões sensoriais e comportamentais semelhantes, a interação indireta cria uma importante vantagem competitiva, essa convivência social de um grupo influenciará a geração ou modificação de *drivers* sociais, contribuindo para o desenvolvimento cognitivo dos integrantes, ampliando o potencial do alcance perceptivo de todos os membros do grupo (SOUZA, 2004).

[...] um impacto importante da interação em grupo é a ampliação do alcance perceptivo e mnemônico dos membros do agrupamento, sendo acrescida à capacidade de cada um ao menos uma parte daquilo que pode ser detectado ou lembrado por qualquer membro dessa rede de interações (SOUZA, 2004, p. 76).

Desse modo, o grupo social passa a servir de mecanismo externo de mediação, podendo gerar uma imensa e importante quantidade de processamento extracerebral de informações que contribuirão para o crescimento cognitivo dos integrantes deste grupo.

Apesar de a criação destes *drivers* serem particulares e individuais à estrutura cognitiva, no qual produzirão um aumento no alcance perceptivo de cada elemento, pois é acrescida à capacidade de cada um dos integrantes, o que pode ser detectado ou recordado individualmente. Exemplos de mediações sociais são as interações entre alunos e professores em sala de aula (Figura 6), quando o aluno processa a informação externa do conceito de campo elétrico por meio de mediação social lembrando da professora explicando na aula de física.

Figura 6: Exemplo de mediação social aluno – professor.



Fonte: A pesquisa.

#### 4.1.3.3 Mediação Cultural

A mediação cultural, a partir do compartilhamento da cultura de grupos maiores e duradouros, chega-se a uma superestrutura extracerebral que é capaz de realizar operações de percepção, memória, categorização e aprendizagem (SOUZA et al., 2012).

A mediação cultural refere-se à forma de armazenamento do conhecimento mediante a linguagem – escrita, falada ou imagística – e seus respectivos desdobramentos, implicando a possibilidade de expressar experiências e acontecimentos.

Agrupamentos humanos maiores, mais duradouros e de maior troca entre os membros tendem a tornar mais sofisticadas as formas de interação entre indivíduos, levando à criação de formas mais eficazes de comunicação e relacionamento. Tais mecanismos, por sua vez, tendem a produzir processos mentais mais complexos (SOUZA, 2004, p. 76).

Conforme o avanço cultural, levando em conta as particularidades de cada cultura, as ideias e os conceitos trazem práticas cada vez mais sofisticadas, envolvendo categorizações complexas do processamento de informações. Expressando acontecimentos e experiências de forma clara armazenando conteúdos e experiências em objetos inanimados.

Um exemplo de mecanismo externo de informações via mediação cultural: quando um sujeito se depara com uma placa que contém apenas uma imagem (Figura 7), provavelmente este sujeito saberá que naquele ambiente onde ele se encontra é proibido fumar. Este signo relacionado ao cigarro foi construído culturalmente, a partir da Lei Anti fumo número 12.546, que proíbe o ato de fumar cigarrilhas, charutos, narguilés e outros produtos em locais coletivos, públicos ou privados, como *halls* e corredores de condomínios, restaurantes e clubes. O sujeito, ao observar este signo, processará esta informação externa por meio de mediação cultural.

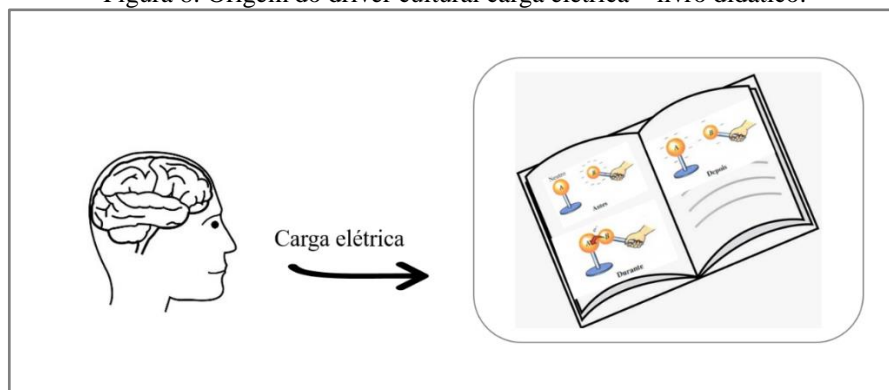
Figura 7: Mecanismo externo via mediação cultural.



Fonte: A pesquisa.

Um exemplo que o aluno processará a informação externa do conceito de carga elétrica por meio de mediação cultural através do livro didático de física (Figura 8), por intermédio da imagem de um bastão com um bolinha e cargas ao seu redor, referente os processos de eletrização por contato ou por indução.

Figura 8: Origem do driver cultural carga elétrica – livro didático.



Fonte: A pesquisa.

Através de uma cultura tem-se uma superestrutura extracerebral capaz de realizar operações de percepção, memória, categorização e aprendizagem, via processamento de informações, onde devida a complexidade desse sistema, a sua existência e viabilidade exigem uma teoria da mente, diferenciada do que é apresentado no contexto da mediação social.

Dentro de um evento de mediação cultural, utilizando experimentos de física, iremos focar para análise neste trabalho a física do ambiente, ou seja a mediação psicofísica, determinado e percebido pelo estudante por ser predominante.

#### 4.1.3.4 Mediação Hiper-cultural

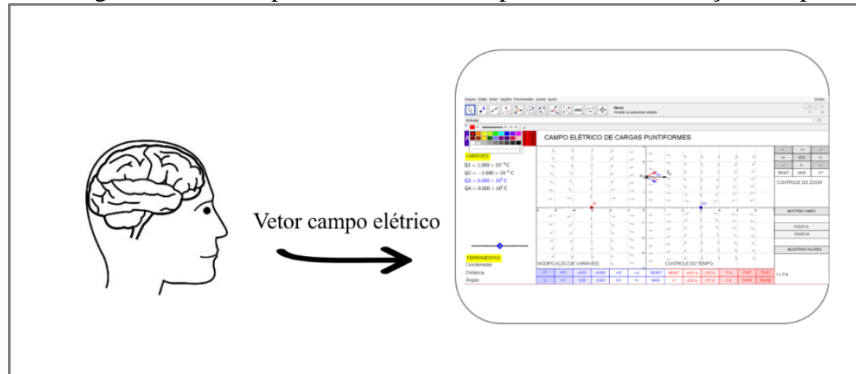
A mediação hiper-cultural é a forma mais avançada de mediação que seria a “mediação digital”, esta evolução das formas de mediações são justificadas por Souza (2004) quando este explica sobre a necessidade de superar as limitações cognitivas dos sujeitos.

Hiper-cultural, segundo Souza (2004, 2006), é o que a Revolução Digital trouxe, ou seja, os mecanismos externos de mediação, que incluem os dispositivos computacionais e seus impactos culturais, ao mesmo tempo que os mecanismos internos, os *drivers*, incluem as competências necessárias para o uso eficaz de tais mecanismos externos.

Isso representa, cognitivamente, uma mudança que atinge profundamente os mecanismos internos e externos utilizados pelos indivíduos, a fim de potencializar as suas atividades intelectuais. No qual a tecnologia da informação no pensamento humano, pode ser considerado como uma nova forma de mediação cognitiva com alcance maior do que a psicofísica, social e cultural.

A mediação hiper-cultural baseia-se no uso de ferramentas tecnológicas responsáveis por realizarem mecanismo externo de informação, interagindo com os mecanismos internos de processamento e, como consequência, modificando a estrutura cognitiva do indivíduo. Como exemplo em que o aluno processa a informação externa do conceito de vetor campo elétrico resultante por meio de mediação hiper-cultural é a utilização da simulação computacional (Figura 9) no GeoGebra referente ao estudo de campo elétrico.

Figura 9: Origem do driver hipercultural vetor campo elétrico – simulação computacional.



Fonte: A pesquisa.

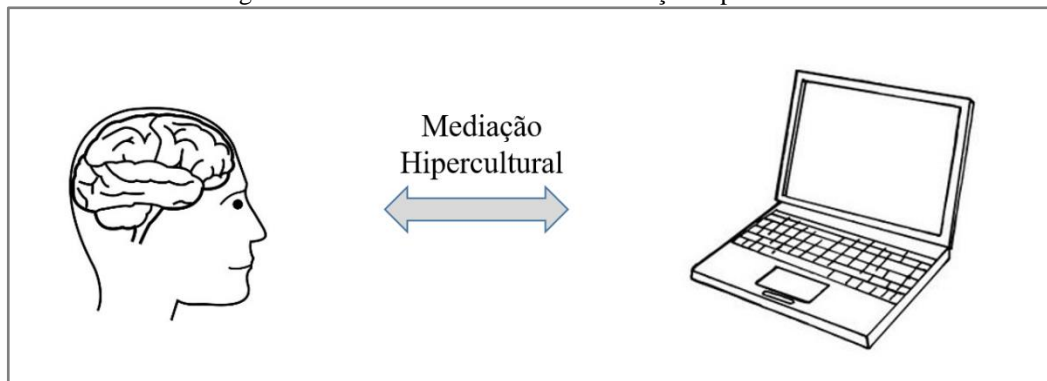
As simulações computacionais (Figura 10) atuam como mediadores hiperculturais, com a finalidade de criar novas representações mentais (teoremas-em-ação) e *drivers* no cognitivo do indivíduo, proporcionando uma aprendizagem dos conceitos abordados.

Souza (2004) afirma que

[...] todas as recentes habilidades, competências, conceitos, modos de agir, funcionalidade e mudanças socioculturais ligadas ao uso de computadores e da Internet constituem um conjunto de fatores que difere substancialmente daquilo que tradicionalmente se percebe como constituindo “Mundo”, “Sociedade” e “Cultura”, sendo, portanto, uma etapa adicional da evolução cognitiva da humanidade (SOUZA, 2004, p. 156).

O surgimento da mediação hipercultural é vista pela TMC como consequência de novas formas de interação, envolvendo grupos sociais e as tecnologias no nível do indivíduo “[...] 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. 85).

Figura 10: Mecanismo externo via mediação hipercultural.



Fonte: A pesquisa.

A TMC tem como hipótese que vantagens cognitivas poderão ter ocorrido devido à utilização de dispositivos computacionais externos, sendo significativas em comparação com o paradigma anterior, e que os *drivers* podem ser resgatados.

#### 4.1.4 Evolução dos mecanismos de mediação

O quadro 1 e figura 11, mostram a descrição feita por Souza (2004) das possíveis formas de mediações e os mecanismos envolvidos.

Quadro 1: Evolução das formas de mediação cognitiva.

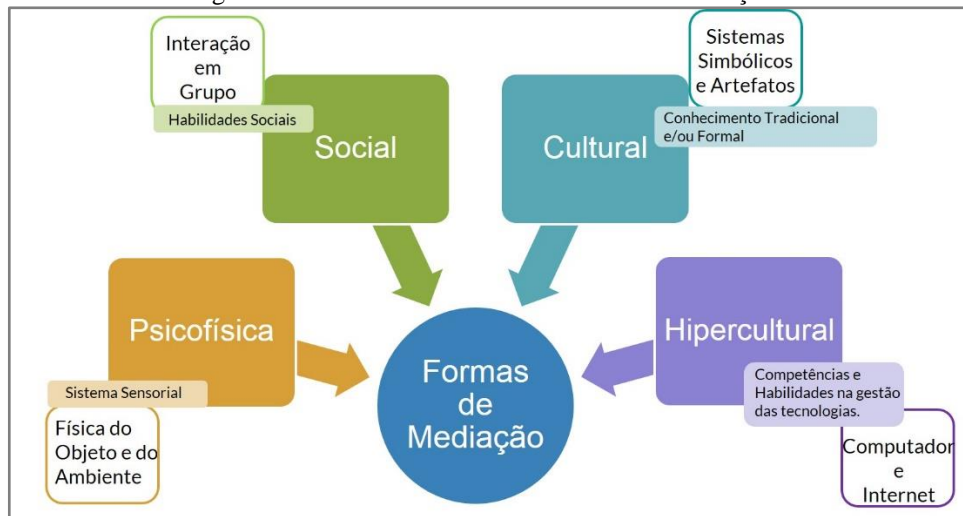
Forma de Mediação	Mecanismos Externos	Mecanismos Internos	Processamento Extracerebral
<b>Psicofísica</b>	Física do Objeto e do Ambiente	Sistemas sensoriais	Percepção
<b>Social</b>	Interação em grupo	Habilidades Sociais	Percepção e memória
<b>Cultural</b>	Sistemas Simbólicos e Artefatos	Conhecimento Tradicional e/ou Formal	Percepção, Memória, Categorização e Aprendizagem
<b>Hipercultural</b>	Tecnologia da Informação	Conceitos e Habilidades do domínio da TI	Percepção, Memória, Categorização e Aprendizagem, Julgamento, Elaboração, Tomada de Decisões

Fonte: SOUZA (2004).

As diferentes maneiras de mediação descritas representam uma sequência cumulativa de mecanismos externos e internos. “Cada novo passo representa uma verdadeira revolução cognitiva, uma enorme expansão quantitativa e qualitativa no alcance da mente humana” (SOUZA, 2004, p. 79).



Figura 11: Formas de mecanismo externo de mediações.



Fonte: Adaptado de SOUZA, 2004.

#### 4.1.5 Suporte teórico da TMC

A TMC está embasada em quatro aportes teóricos, desenvolvidos por Jean Piaget, Lev Semenovich Vygotsky, Robert Sternberg e Gérard Vergnaud. Neste trabalho abordaremos sucintamente os três primeiros teóricos e o aprofundamento da Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud.

##### 3.1.5.1 Contribuições de Piaget

A epistemologia de Jean Piaget reside no conceito de Equilibração, que envolve a assimilação e a acomodação. A Assimilação abrange a internalização de uma ordem, forma de esquemas, as lógicas que estruturam o pensamento. A Acomodação compreende as transformações de um conjunto preexistente de lógicas do pensamento em função da posterior assimilação de uma nova lógica (SOUZA, 2004).

Piaget considera a assimilação como uma forma de o indivíduo lidar mais eficientemente com os sistemas e objetos do mundo ao seu redor. Na TMC, seria o principal componente dinâmico da cognição humana, que não apenas melhora a relação com o objeto/sistema em si mesmo, mas também o seu uso para finalidades computacionais envolvendo outros objetos/sistemas. Trata-se de uma lógica flexível de possibilidades de atribuições de significados e de relações entre eles (SOUZA, 2004, p. 110).

Para Piaget, a acomodação é um processo capaz de provocar mudanças profundas no funcionamento cognitivo, arquitetando estruturas lógicas e conceituais cada vez mais

complexas. Na TMC, considera-se “a acomodação como o processo pelo qual o acúmulo de mecanismos internos e externos de mediação leva ao surgimento de uma estrutura cognitiva coesa, integrada e expandida [...]” (SOUZA, 2004, p. 111), ou seja, o conceito é tomado em seu significado piagetiano original, essencialmente sem modificação.

A Epistemologia Genética de Jean Piaget prevê que a reestruturação cognitiva produzida pela acomodação “considera que os estágios do desenvolvimento definem-se a partir de uma organização hierárquica de lógicas em função de sua complexidade e relações de necessidade (sensório motor, pré-operacional, operacional concreto e operacional formal)” (SOUZA, 2004, p. 111). Já a TMC prevê a ocorrência de um desenvolvimento individual que se dá por meio de uma sucessão de etapas: “opta por considerar uma classificação de estágios baseada no tipo de mediação utilizada (psicofísica, social, cultural e hipercultural)” (SOUZA, 2004, p. 111).

De acordo com Piaget, o ambiente tem o papel de fornecer experiências imbuídas de uma ordem, possibilitando a assimilação de uma lógica equivalente a tal ordem. Na TMC, o “[...] ambiente também é encarado como sendo um campo de experiências e o mundo dentro do qual é preciso obter sobrevivência e bem-estar, porém, existe um outro aspecto que é acrescido: o de processamento e comunicação de dados e informação” (SOUZA, 2004, p. 112). Quando tais mecanismos de mediação são estabelecidos, essas partes do ambiente são incorporadas no indivíduo como verdadeiras extensões da sua mente. A TMC atribui ao ambiente um papel cognitivo mais ativo e participativo.

O desenvolvimento cognitivo, segundo a Epistemologia Genética de Jean Piaget, atinge o seu auge no estágio Operacional Formal. A partir desse ponto, é possível adquirir novos conhecimentos e habilidades mentais, porém, não alterando o limite superior atingido. A TMC considera que não há um patamar máximo para distinguir a lógica e que “as novas tecnologias da informação e da comunicação introduzem um novo tipo de ordem no espaço das experiências humanas, o qual será assimilado sob a forma de um novo tipo de lógica e, portanto, levará a novos tipos de acomodação” (SOUZA, 2004, p. 113).

#### 4.1.5.2 Contribuições de Vygotsky

A teoria sociocultural de Vygotsky considera como processos superiores os desenvolvimentos ao longo da história humana e sua transmissão cultural por meio da interação social; os processos inferiores seriam os do comportamento com origem biológica. Os instrumentos acarretaram desenvolvimentos biológicos e psicológicos; instrumentos culturais,

associados à linguagem e aos signos, ocasionaram um maior controle do ser humano sobre sua própria psique e funcionamento mental (SOUZA, 2004).

Dentro da concepção de Vygotsky, um sistema de signos é “um conjunto de representações de objetos, operações e significados que constitui uma verdadeira ‘caixa de ferramentas’ do pensamento” (SOUZA, 2004, p. 120), disponibilizado pela sociedade.

Vygotsky descreve a internalização gradual de sistemas de signos por meio do uso de ferramentas mediante o processo da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), que seria a distância entre o “atual nível de desenvolvimento de um indivíduo segundo determinado pela resolução independente de problemas e o nível de desenvolvimento potencial conforme determinado através da resolução de problemas sob a coordenação de um adulto ou em colaboração com colegas mais capazes” (SOUZA, 2004, p. 123).

A TMC trabalha com a ideia de que as interações humanas ocorrem em grupos sociais e “também funcionam como dispositivos computacionais que são utilizados para atender tanto à coletividade quanto a demandas dos indivíduos que dela fazem parte” (SOUZA, 2004, p. 123). A internalização dos símbolos não ocorre somente na participação social, mas também na utilização das redes e cadeias sociais, como dispositivos computacionais (SOUZA, 2004).

Diversos mecanismos socioculturais desempenham tanto uma função coletiva, que beneficia os participantes enquanto grupo e/ou a sociedade como um todo, quanto individual, isoladamente, por meio da disponibilização de meios extracerebrais de processamento de informação, possibilitando aos indivíduos ferramentas mais complexas e potentes do que as que existiam anteriormente, ou seja, novos mecanismos externos de mediação (SOUZA, 2004).

#### 4.1.5.3 Contribuições de Sternberg

Robert J. Sternberg baseia-se no paradigma do processamento da informação a partir da Teoria Triárquica da Inteligência, que aponta a existência de uma arquitetura cognitiva composta de três facetas ou subteorias, sendo elas: a Faceta Analítica (Subteoria dos Componentes); a Faceta Criativa (Subteoria Experiencial); e a Faceta Prática (Subteoria Contextual).

A *Faceta Analítica* (Subteoria dos Componentes) compreende mecanismos responsáveis pela capacidade analítica, que é medida em testes psicométricos e em exames acadêmicos, refletindo como um indivíduo se relaciona com o seu mundo interior. É composta pelos meta componentes referentes a controle, monitoração e avaliação do processamento

cognitivo, e pelos componentes de Aquisição de Conhecimento, ligados aos processos usados no acúmulo e armazenamento de novos conhecimentos (SOUZA, 2004).

A *Faceta Criativa* (Subteoria Experiencial) envolve as sínteses e a habilidade de reagir a novas situações e estímulos. Constitui-se da Novidade, mediante os mecanismos responsáveis pela capacidade de lidar com novas situações, e da Automatização, com componentes que possibilitam a automatização do processamento da informação (SOUZA, 2004).

Por fim, a *Faceta Prática* (Subteoria Contextual) envolve a habilidade de apreender, compreender e lidar com tarefas quotidianas. Constitui-se: da Adaptação, a partir da capacidade de mudar a si mesmo em função do ambiente e das pessoas, de modo a atingir metas pessoais; da Modelagem, com a capacidade de mudar o ambiente e as pessoas para atingir metas pessoais; e da Seleção, com a capacidade de, na eventualidade do insucesso da Adaptação e da Modelagem, escolher e migrar para um novo ambiente, com novas pessoas, onde as metas possam ser atingidas (SOUZA, 2004).

As Facetas Analítica, Criativa e Prática da teoria Triárquica de Sternberg “permitem o aprendizado de novos conhecimentos, a capacidade de adaptação a situações inéditas e a interação eficaz com o ambiente”. Em virtude das mudanças tecnológicas, sociais e culturais ocorridas na Revolução Digital, a TMC incorpora, assim, a estruturação de novos mecanismos externos por meio da Hiperultura, composta de redes interativas complexas; as subteorias explicam o funcionamento e o surgimento dos mecanismos internos de mediação (SOUZA, 2004).

Existe uma diferença entre a Teoria Triárquica da Inteligência e a TMC.

A primeira estabelece um modelo da cognição humana baseado numa metáfora com um computador (embora com uma estrutura diferente da tradicional arquitetura de Von Neumann), mas a segunda propõe um modelo baseado numa metáfora com uma rede de computadores (SOUZA, 2004, p. 129).

A teoria de Sternberg explica a cognição humana em relação às estruturas individuais internas em interações complexas e adaptativas com um ambiente mutável. A TMC procura fazer o mesmo, mas “expandindo a metáfora computacional para um grande conjunto de sistemas individuais interagindo por meio de redes complexas em arquiteturas distribuídas” (SOUZA, 2004, p. 129).

## 4.2 TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS - TCC

A Teoria dos Campos Conceituais – TCC é uma teoria cognitivista neopiagetiana, que refere-se ao estudo do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem em relação ao conteúdo do conhecimento. Gérard Vergnaud é discípulo de Piaget, portanto, redireciona em sua teoria o foco Piagetiano das operações lógicas gerais para o estudo cognitivo do "sujeito-em-situação" (VERGNAUD, 2013).

Ele também reconhece que a Teoria dos Campos Conceituais foi desenvolvida a partir das concepções de Vygotsky, atribuída à interação social, à linguagem e à simbolização progressiva do domínio de um campo conceitual.

A Teoria dos Campos Conceituais (VERGNAUD, 1990, 1996a) refere-se ao estudo do desenvolvimento cognitivo de um sujeito através de problemas específicos relativos a um conteúdo, e supõe que o âmago do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização, no qual permite estudar continuidade e rupturas entre conhecimentos do conteúdo conceitual. O significado de conceitualização é compreendido como processo de formação ou construção dos conceitos.

Vergnaud evidencia que o conhecimento está organizado em Campos Conceituais, por intermédio da maturidade, experiência e aprendizagem. Uma vez que “é um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos, e operações de pensamento, conectados uns aos outros e possivelmente imbricados no processo de aquisição” (VERGNAUD, 1982).

### 4.2.1 Esquemas

Sem esquemas e sem situação, não se pode compreender o desenvolvimento do pensamento (VERGNAUD, 2013). São nos esquemas que devem ser pesquisados os conhecimentos-em-ação do sujeito, isto é, os elementos cognitivos que fazem com que a ação do sujeito seja operatória, pois será ele que dará conta da organização das habilidades sensório-motoras e das habilidades intelectuais.

O esquema depende de cada situação em particular, ele pode gerar diferentes sequências de ações, coleta de informações e de controle, ou seja, ele não é único, e se constitui basicamente de quatro componentes (VERGNAUD, 2013):

- um objetivo, subobjetivos e antecipações;

- regras de ação, busca e controle de informações;
- invariantes operacionais: conceitos em ação e teoremas em ação;
- possibilidades de inferência em situação.

Se o sujeito usa em certa situação um esquema ineficaz a experiência o leva a mudar de esquema ou a modificar o esquema. Esquemas são fundamentais porque geram ações, incluindo operações intelectuais, mas podem gerá-las porque contêm invariantes operatórios (teoremas e conceitos-em-ação) que formam o núcleo da representação.

O processo de reflexão sobre a produção do conhecimento, revelando os esquemas, possui vários aspectos, como na interpretação da situação, na escolha das opções e/ou construções de procedimentos para a produção de solução para cada situação; no registro dos procedimentos em relação aos objetos de conhecimento e suas representações; na validação do processo resolutivo e das respostas; no confronto com os colegas e no processo da institucionalização por parte do professor.

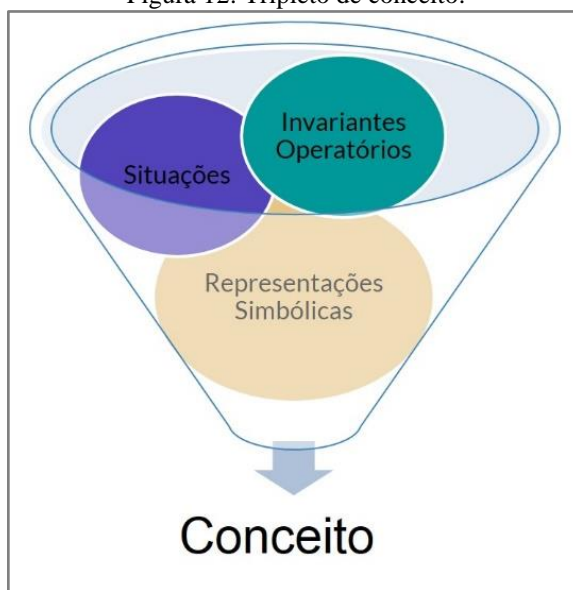
#### 4.2.2 Conceito

Um conceito será significativo para o sujeito por intermédio de variadas situações referentes a este conceito. Vergnaud (2013) considera ser um conceito um triplete de  $C=(S,I,R)$  onde:

- S é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito;
- I é um conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) sobre os quais repousa a operacionalidade do conceito, ou o conjunto de conceitos e teoremas em ação associados ao conceito, ou o conjunto de invariantes que pode ser reconhecido e usado pelos sujeitos para analisar e dominar as situações. Este conjunto é denominado significado do conceito;
- R é um conjunto de representações simbólicas (língua natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) possíveis de serem usadas para indicar e representar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos para lidar com elas. Este conjunto é denominado significante do conceito.

Os conceitos não são entidades isolados, mas entrelaçadas entre si (Figura 12). Assim sendo, os termos psicológicos S é a realidade e (I, R) a representação que pode ser considerada como dois aspectos interagentes do pensamento, o significado (I) e o significante (R), e para se estudar o uso de um conceito é necessário considerar este conjunto simultaneamente.

Figura 12: Tripleto de conceito.



Fonte: Adaptado de VERGNAUD, 1990.

“Por outro lado, como foi dito, um único conceito não se refere a um só tipo de situação e uma única situação não pode ser analisada com um só conceito” (MOREIRA, 2002, p. 10). Um conceito ganhará sentido em diferentes situações, e esta situação não deve ser analisada graças a um conceito único, mas, sim, graças a um conjunto deles (PLAISANCE; VERGNAUD, 2003).

#### 4.2.3 Situações

Para Vergnaud (1993), toda situação complexa pode ser analisada com uma combinação de tarefas, a qual os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com as quais é confrontado. Em um campo conceitual, existe uma variedade de situações onde os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que dão sentido aos conceitos e aos procedimentos que queremos que os alunos aprendam. A palavra situação, não tem o sentido de situação didática, mas de tarefa cognitiva.

Muitas de nossas concepções vêm das primeiras situações que fomos capazes de dominar ou de nossa experiência tentando modificá-las. São os esquemas, as invariantes operacionais, os comportamentos produzidos no sujeito por uma situação ou por um significante (representação simbólica) que constituem o sentido dessa situação ou desse significante para esse indivíduo (VERGNAUD, 1990).

As situações é que dão sentido ao conceito, ou seja, as situações que são responsáveis pelo sentido atribuído ao conceito. E o conceito torna-se significativo através de uma variedade

de situações. O sentido não está nas situações em si mesmas, assim como não está nas palavras nem nos símbolos. O sentido é uma relação do sujeito com as situações e com os significantes. Trata-se de um subconjunto dos esquemas que o sujeito possui, ou dos esquemas possíveis (VERGNAUD, 2013).

Para Vergnaud (1990) há dois tipos de situações, que podem gerar dois tipos de processos diferentes para o aluno. A primeira classe de situação está relacionada à que o sujeito já possui seu repertório de competências, com procedimentos adequados ao tratamento da situação; na segunda classe de situação, o sujeito não dispõe de todas as competências para o tratamento da situação, existe uma ruptura do conhecimento.

O conjunto de situações-problema precisa estar intimamente relacionado, no qual requer o domínio de vários conceitos de naturezas distintas, pois um conceito só fará sentido a partir de um conjunto de situações, porém a situação não se resolve somente com um conceito, sendo fundamental no processo de conceitualização os conceitos pertencerem à classe de situações. Para Vergnaud (1983, p. 393):

- 1) um conceito não se forma dentro de um só tipo de situações;
- 2) uma situação não se analisa com um só conceito;
- 3) a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo de muito fôlego que se estende ao longo dos anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal-entendidos entre situações, entre concepções, entre procedimentos, entre significantes.

#### **4.2.4 Invariantes Operatórios**

A relação entre situações e esquemas é a fonte primária da representação e da conceitualização, pois são os invariantes operatórios que fazem a articulação essencial entre teoria e prática. A seleção de informação se baseia no sistema de conceitos-em-ação e nos teoremas-em-ação disponíveis para o sujeito (VERGNAUD, 2013).

Os invariantes operatórios determinam as diferenças entre um esquema e outro, onde a percepção, a busca e a seleção de informação baseiam-se inteiramente no sistema de conceitos-em-ação disponíveis para o sujeito por intermédio das relações, condições, atributos, objetos e circunstâncias, e nos teoremas-em-ação subjacentes à sua conduta (VERGNAUD, 1996).

Os Conceitos-em-ação e Teoremas-em-ação são invariantes operacionais, logo, são componentes essenciais dos esquemas, no qual um conceito-em-ação está disponíveis para o



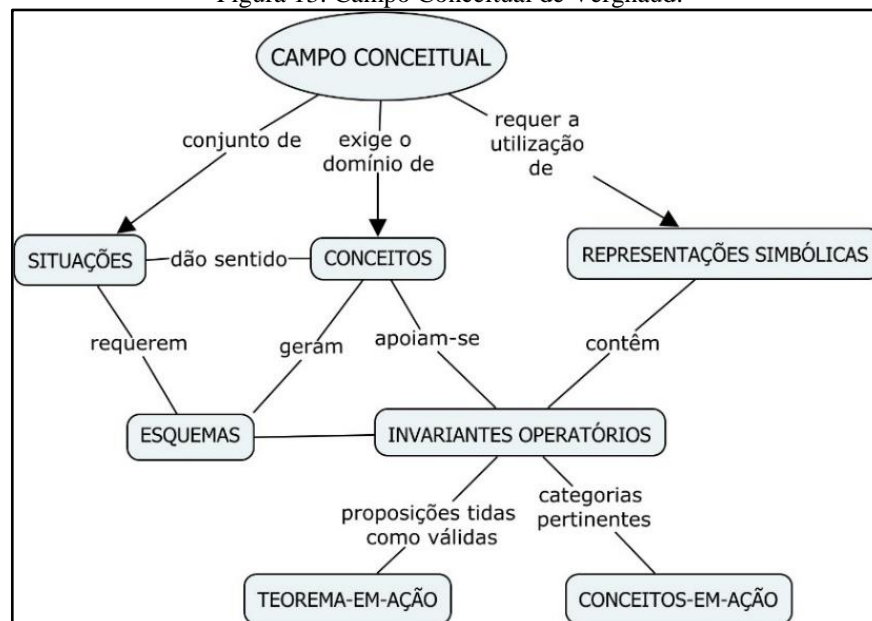
sujeito (objetos, atributos, relações, condições, circunstâncias...) e o teoremas-em-ação subjacentes à sua conduta (VERGNAUD, 2013).

Conceito-em-ação: é um conhecimento necessário para resolver um problema ou uma questão. Através dele identificamos informações necessárias para resolver problemas; mas ele não permite operar. Para isso usamos os teoremas-em-ação, que são formados pelos conceitos-em-ação. Ambos não podem ser considerados verdadeiros, mas relevantes ou irrelevantes. Apenas os teoremas científicos podem ser considerados verdadeiros ou falsos (PARISOTO, 2011, p.50).

Conceito-em-ação e Teorema-em-ação são precisamente implícito e o aprendiz tem dificuldade em explicitá-lo, porque geralmente existe uma lacuna considerável entre os invariantes que o sujeito constrói e os invariantes que constituem o conhecimento científico (Moreira, 2002) .

Por fim, a figura 13 representa os principais conceitos da Teoria dos Campos Conceituais, que tem como proposta explicar o desenvolvimento dos processos de conceitualização.

Figura 13: Campo Conceitual de Vergnaud.



Fonte: Adaptado de JENSKE, 2011.

#### 4.3 RELAÇÃO ENTRE A TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA E A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS

Gérard Vergnaud, em sua Teoria dos Campos Conceituais, aponta que a chave para a capacidade cognitiva reside em um conjunto de habilidades que incluem não apenas o

conhecimento técnico-científico, mas, também, o conhecimento informal e os aspectos de gesto, linguagem, comunicação, sociabilidade e competência afetiva. Existiriam três níveis de organização, sendo eles os conceitos, os esquemas e as competências (SOUZA, 2004).

Na Teoria dos Campos Conceituais, o desenvolvimento cognitivo depende fortemente da situação e da conceitualização específicas. Para Vergnaud (1990, p. 52), “o saber se forma a partir de problemas para resolver, quer dizer, de situações para dominar. [...] toda situação na qual é preciso descobrir relações, desenvolver atividades de exploração, de hipótese e de verificação, para produzir uma solução”.

Os conceitos “são representações mentais das relações possíveis entre o mundo exterior e os próprios comportamentos que surgem a partir dos mecanismos adaptativos de assimilação e acomodação [...]” (SOUZA, 2004, p. 114). Os Esquemas são “um conjunto de ações coordenadas, integradas por regras ou conceitos, que é aplicável com sucesso para determinadas categorias de problemas e contextos (algoritmos)” (SOUZA, 2004, p. 114). As Competências são um conjunto de esquemas bem organizados; são “[...] repertórios amplos de ações que possibilitam ao indivíduo enfrentar classes de situações (ou grupos de classes) e suas possíveis variações” (SOUZA, 2004, p. 114).

A Teoria dos Campos Conceituais produz ações de grande tamanho e complexidade, em que se promove a capacidade de lidar com distintas situações e contextos, esses contextos são representados sob a forma de conceitos e organizados em esquemas e competências (SOUZA, 2004). Segundo a TMC, “o desenvolvimento cognitivo envolve a interação de um indivíduo com objetos e sistemas que tenham capacidade de realizar computações, sendo um processo que envolve o surgimento simultâneo dos mecanismos internos e externos de mediação” (SOUZA, 2004, p. 116). O indivíduo não apenas aloca os mesmos recursos computacionais, como também ganha novos conceitos, metáforas e operações lógicas, expandindo significativamente a sua capacidade mental.

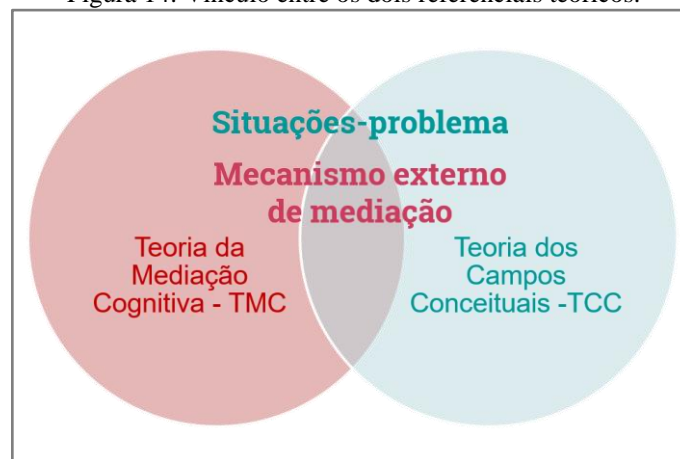
Vergnaud (1993) definiu que em um campo conceitual existe uma variedade de situações em que os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que dão sentido aos conceitos e aos procedimentos que queremos que os alunos aprendam, e que toda situação complexa pode ser analisada com uma combinação de tarefas, onde os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com as quais é confrontado.

E a mediação cognitiva, para Souza (2004), ocorre relacionando os processos internos e externos à estrutura cognitiva por intermédio dos *drivers*, mediante os conhecimentos individuais e o acesso e uso de mecanismos externos, possibilitando a aquisição de conhecimentos e desenvolvimento da estrutura cognitiva. E, existem quatro formas de

mediação, de acordo com a TMC: a Mediação Psicofísica; a Mediação Social, a Mediação Cultural, e a Mediação Hiper-cultural.

A ligação entre a Teoria da Mediação Cognitiva e a Teoria dos Campos Conceituais está nas relações entre o entrelaçamento do mecanismo externo de mediação com as situações-problema, tornando um conceito significativo, onde o sentido é uma relação que os alunos fazem com as situações por meio de mecanismo externo de mediação (Figura 14).

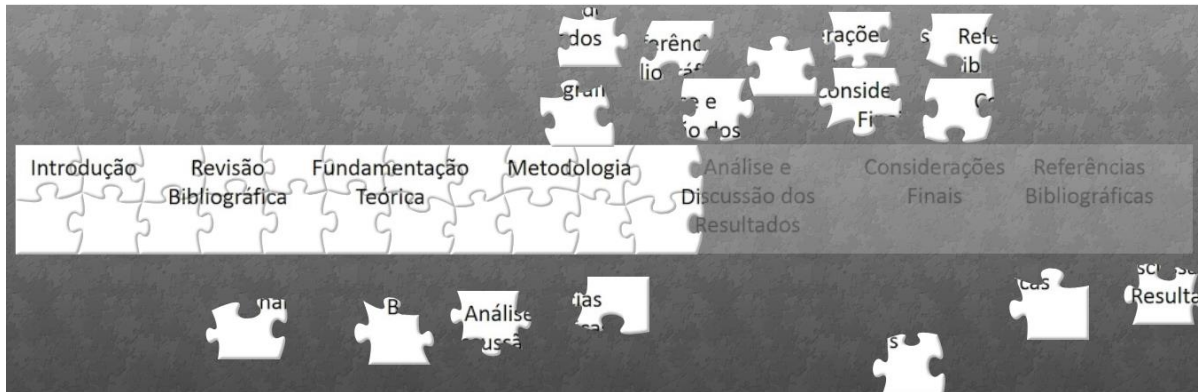
Figura 14: Vínculo entre os dois referenciais teóricos.



Fonte: A pesquisa.

A seguir, será apresentada a metodologia utilizada por esta pesquisa.

## 5 METODOLOGIA



Fonte: A pesquisa.

Neste capítulo, será descrito o delineamento metodológico, justificando o conjunto de evidências abordadas na construção desta pesquisa, a fim de produzir os dados para análise, apontando as mediações cognitivas ocorridas durante a atividade desenvolvida no campo conceitual da eletrostática.

## 5.1 A PESQUISA

Caracterizamos esta pesquisa como sendo de natureza qualitativa no Ensino de Física, devido a produção de dados por intermédio de entrevistas transcritas, palavras, figuras e formas de documentos. A finalidade da pesquisa qualitativa é documentar, em detalhes, os eventos diários e identificar o que esses eventos significam para os participantes e para as pessoas que presenciam os eventos (ERICKSON, 1998).

Erickson (1998) afirma que a pesquisa qualitativa descreve as principais ocorrências em termos descritivos que sejam funcionalmente relevantes e relaciona essas ocorrências com o contexto social mais amplo, a fim de que sirvam como exemplos concretos dos princípios abstratos da organização social.

Erickson (1986) apresenta os principais objetivos da abordagem qualitativa em pesquisas voltadas à educação, sendo eles: procurar a compreensão do fenômeno segundo a perspectiva dos atores através da participação em suas vidas; foco nos significados e experiências; ênfase em ações e não em comportamentos.

Sendo assim, esta investigação teve como questão norteadora: Como os mecanismos externos de mediação e as situações-problema se entrelaçam quando um aluno progride no domínio do campo conceitual ao resolver um problema de eletrostática?

O principal objetivo da tese é investigar quais mecanismos externos de mediação o aluno utiliza como suporte para resolver situações-problema de eletrostática e a relação entre elas na discussão do Ensino de Física.

Para alcançar o objetivo estabelecido, foram propostos um conjunto de objetivos específicos que visaram delimitá-los:

- Identificar as imagens mentais e *drivers* que os alunos do Ensino Superior manifestam no pré-teste e no pós-teste, por meio da linguagem escrita, verbal e gestual;
- Investigar quais mecanismos externos de mediação os alunos apontam no Campo Conceitual da Eletrostática;

- Analisar se ocorreram modificações e/ou construções de imagens mentais e *drivers* na estrutura cognitiva dos alunos do Ensino Superior, referente ao campo conceitual da eletrostática.

Esses objetivos nortearam a investigação em dois experimentos, o piloto e o definitivo. O experimento piloto foi desenvolvido no segundo semestre de 2016, com oito alunos, sendo quatro do sexto semestre do curso de Licenciatura em Física, de uma Instituição do Ensino Superior privada do Rio Grande do Sul (duas do sexo feminino e dois do sexo masculino), e quatro alunos do primeiro semestre (calouros), dos cursos de Engenharia Civil e Mecânica (sexo masculino).

E, o experimento definitivo ocorreu no primeiro semestre de 2017, envolveu 57 alunos no total: 27 alunos do curso de Engenharia Mecânica (três do sexo feminino e 24 do sexo masculino) e 30 alunos do curso de Engenharia Civil (18 do sexo feminino e 12 do sexo masculino), realizado com duas turmas do componente de Física Geral III.

Onde buscamos identificar de que forma cada aluno da pesquisa, utiliza os mecanismo externos para resolver uma situação-problema de eletrostática, onde consideramos as imagens mentais e os *drivers* utilizados nas situações-problemas no decorrer da escrita, falas e gestos descritivos dos alunos.

## 5.2 MÉTODO QUALITATIVO: O ESTUDO DE CASO

Para delinear a metodologia, apontamos o método de estudo de caso, por se tratar de uma estratégia de pesquisa que se baseia em várias fontes de evidências. O caso de estudo desta pesquisa considera diferentes evidências para a produção de dados, como documentos, entrevistas e as observações diretas, a fim de investigar/identificar se ocorreu modificação ou construção de imagens mentais provenientes de situações-problema em que o aluno é exposto.

Segundo Yin (2001), para ser um pesquisador de um estudo de caso é necessário ter habilidades desejadas, ou seja, um conjunto de procedimentos técnicos, onde não seguem uma rotina. Uma vez que as habilidades exigidas para produzir os dados são muito mais exigentes do que aquelas relevantes em um levantamento.

Para um bom estudo de caso, Yin (2001) aponta que é necessário possuir habilidades como: **Realizando perguntas:** quando se realiza um trabalho de campo, deve-se perguntar porque os eventos ocorreram, realizar boas perguntas e interpretar as respostas; **Ouvindo:** ouvir significa ser capaz de assimilar novas informações, perceber o contexto que o entrevistado está percebendo os fatos ao seu redor; **Adaptatividade e flexibilidade:** poucos estudos de casos

terminarão exatamente como planejados, algumas vezes, faz-se necessário realizar pequenas alterações; **Compreensão das questões que estão sendo estudadas:** Deve-se entender o que se quer investigar, e fazer julgamentos durante a fase de produção de dados, não basta apenas registrar os dados, é necessário interpretar as informações; **Ausência de viés:** as condições serão inválidas se o pesquisador utilizar o estudo de caso para comprovar algo já esboçado, pois a partir de um problema necessita compreender as questões e agir com discricção, oferecendo explicações e sugestões opcionais para a produção de dados.

Quando a produção de dados para estudo de caso se baseia em diferentes evidências, mais detalhes o pesquisador terá acesso para organizar sua base de dados. E as diferentes fontes de evidências citadas por Yin (2001) são: documentação, registros em arquivos, entrevistas, observações e artefatos físicos. No quadro 2 a seguir, apresentamos cada fonte de evidências com suas vantagens e desvantagens, enfatizando que elas são altamente complementares.

Quadro 2: Seis fontes de evidências: pontos fortes e pontos fracos.

Fonte de evidências	Pontos fortes	Pontos fracos
<b>Documentação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estável: pode ser revisada inúmeras vezes</li> <li>• Discreta: não foi criada como resultado do estudo de caso</li> <li>• Exata: contém nomes, referências e detalhes exatos de um evento</li> <li>• Ampla cobertura: longo espaço de tempo, muitos eventos e muitos ambientes distintos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de recuperação: pode ser baixa</li> <li>• Seletividade tendenciosa se a coleta não estiver completa</li> <li>• Relato de visões tendenciosas: reflete as ideias preconcebidas (desconhecidas) do autor</li> <li>• Acesso: pode ser deliberadamente negado.</li> </ul>
<b>Registro em arquivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [os mesmos mencionados para documentação]</li> <li>• Precisos e quantitativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [os mesmos mencionados para documentação]</li> <li>• Acessibilidade aos locais graças a razões particulares</li> </ul>
<b>Entrevista</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direcionadas: enfocam diretamente o tópico do estudo de caso</li> <li>• Perceptivas: fornecem inferências causais percebidas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visão tendenciosa devido a questões mal-elaboradas</li> <li>• Respostas tendenciosas</li> <li>• Ocorrem imprecisões devido à memória fraca do entrevistado</li> <li>• Reflexibilidade: o entrevistado dá ao entrevistador o que ele quer ouvir</li> </ul>
<b>Observações diretas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realidade: tratam de acontecimentos em tempo real</li> <li>• Contextuais: tratam do contexto do evento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consomem muito tempo</li> <li>• Seletividade: salvo ampla cobertura</li> <li>• Reflexibilidade: o acontecimento pode ocorrer de forma diferenciada porque está sendo observado</li> <li>• Custo: horas necessárias pelos observadores humanos</li> </ul>
<b>Observação de participantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [os mesmos mencionados para observação direta]</li> <li>• Perceptiva em relação a comportamentos e razões interpessoais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [Os mesmos mencionados para observação direta]</li> <li>• Visão tendenciosa devido à manipulação dos eventos por parte do pesquisador</li> </ul>

<b>Artefatos físicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de percepção em relação a aspectos culturais</li> <li>• Capacidade de percepção em relação à operação técnica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seletividade</li> <li>• Disponibilidade</li> </ul>
--------------------------	--	---

Fonte: YIN, 2001, p. 108.

Utilizamos na pesquisa três fontes de evidências abordadas pelo autor para produzir os dados, sendo elas os documentos, entrevistas e as observações diretas.

Os **documentos** são os pré e pós-testes realizados pelos alunos durante o desenvolvimento da atividade onde “para os estudos de caso, o uso mais importante de documentos é corroborar e valorizar as evidências oriundas de outras fontes” (YIN, 2001, p. 109).

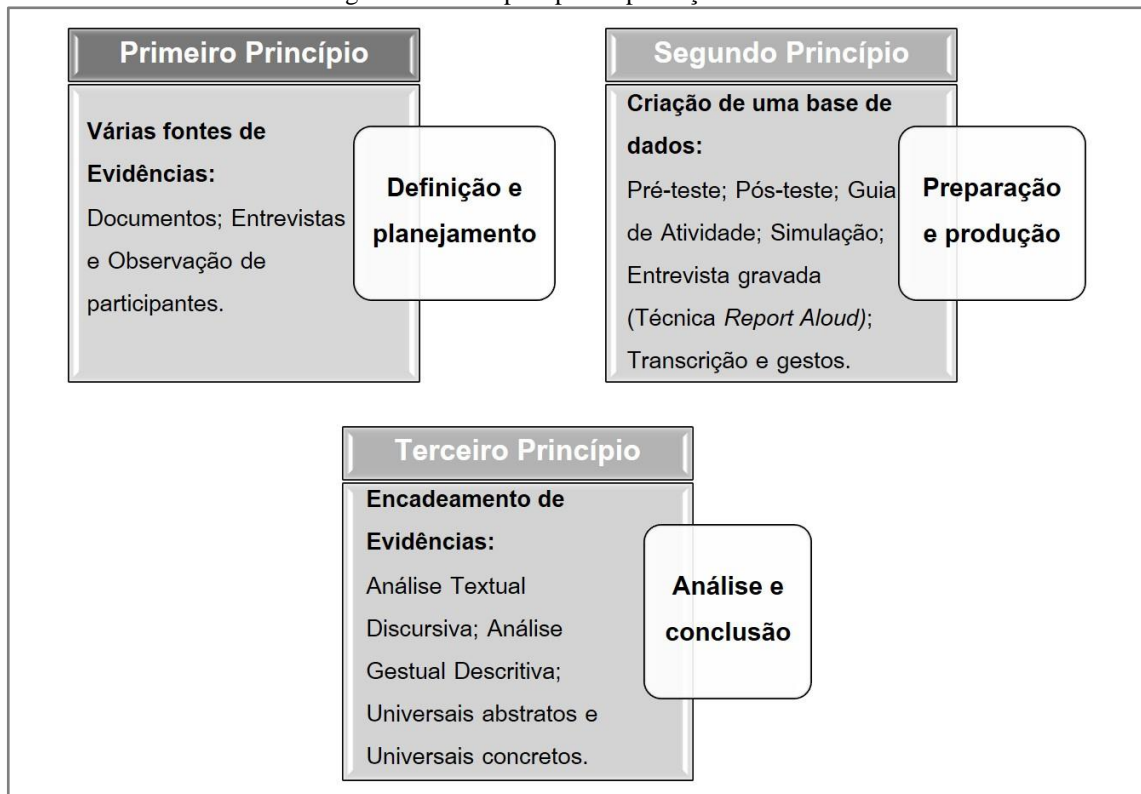
As **entrevistas** individuais realizadas com os alunos semanas depois do preenchimento do pós-teste. Entrevistas essas que foram conduzidas de forma espontânea, mas estruturadas, que levaram ao levantando das interpretações sobre o campo conceitual da eletrostática. Na entrevista, “Essas pessoas não apenas fornecem ao pesquisador do estudo percepções e interpretações sob um assunto, como também podem sugerir fontes nas quais pode-se buscar evidências corroborativas e pode-se iniciar a busca a essas evidências” (YIN, 2001, p. 112). A entrevista trata-se de uma fonte essencial de evidências para a interpretação dos gestos realizados pelos alunos, dessa forma, foram gravadas perante o consentimento dos entrevistados.

E, por fim, as **observações diretas**, por serem outra fonte de evidências, pois a pesquisadora era a professora titular da turma em que ocorreu o experimento definitivo. “As provas observacionais são, em geral, úteis para fornecer informações adicionais sobre o tópico que está sendo estudado” (YIN, 2001, p. 115), possibilitando traçar o perfil dos alunos e a evolução dos conceitos.

Para Yin (2001), existem três princípios para a produção de dados (Figura 15), detalhados a seguir.



Figura 15: Princípios para a produção de dados.



Fonte: A pesquisa.

### 5.2.1 Primeiro Princípio: Definição e planejamento

O primeiro princípio é utilizar várias fontes de evidências, o qual dará ao pesquisador a oportunidade de obter uma ampla diversidade de evidências, “assim, qualquer descoberta ou conclusão em um estudo de caso provavelmente será muito mais convincente e acurada se se basear em várias fontes distintas de informação, obedecendo a um estilo corroborativo de pesquisa” (YIN, 2001, p. 121). Utilizamos mais de uma fonte de evidências destacadas anteriormente na atividade, a fim de trazer o máximo de informações sobre as mediações cognitivas do aluno, no intuito de investigar se ocorreu modificação ou construção de imagens mentais em relação aos conceitos de eletrostática. Nesta etapa com a delimitação do conteúdo de estudo, emergiram nas leituras as categorias trabalhadas no capítulo da Revisão Bibliográfica.

### 5.2.2 Segundo Princípio: Preparação e produção

O segundo princípio está relacionado à criação de uma base de dados para o estudo de caso, interligando com a maneira de organizar e documentar os dados produzidos. Essa documentação consiste em duas produções separadas, os dados/base comprobatória e o relatório do pesquisador. Frequentemente, os dados são sinônimos das evidências apresentadas no relatório e “a qualidade mais importante das boas respostas é que elas, na verdade, unem provas específicas por meio de citações apropriadas às questões pertinentes do estudo de caso” (YIN, 2001, p. 129).

A partir dos documentos, entrevistas e observações diretas, a nossa base de dados está organizado na forma escrita dos pré e pós-testes, das gravações em vídeo, das transcrições e codificações dos gestos, individualmente, de cada aluno.

Para a obtenção de dados, nos dois experimentos utilizamos para a pesquisa o pré e o pós-teste individual com situações-problema relacionadas a simulação e entrevistas na tentativa de avaliar as possíveis alterações que possam ter ocorrido na estrutura cognitiva do aluno. Detalhamos a seguir os quatro momentos da produção de dados:

- **Pré-teste:** realizado individualmente com quatro situações-problemas abertas, envolvendo conceitos de campo elétrico antes da simulação computacional;
- **Guia de Simulação computacional:** executado em duplas, constituído por um Guia de atividade, norteando os alunos na utilização do GeoGebra sobre “Campo elétrico de cargas puntiformes”;
- **Pós-teste:** realizado individualmente após a simulação computacional, com as mesmas quatro situações-problemas do pré-teste;
- **Entrevista:** realizada individualmente após a simulação computacional com a técnica *Report Aloud*.

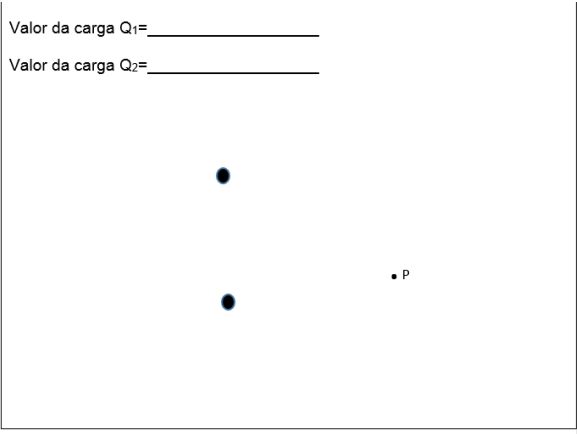
### 5.2.1.1 Pré-teste e pós-teste individual

Elaboramos dois questionários com quatro situações-problema semelhantes (Apêndice A e C), cujo objetivo era comparar as possíveis evoluções cognitivas dos alunos, após a realização da simulação no GeoGebra sobre campo elétrico.

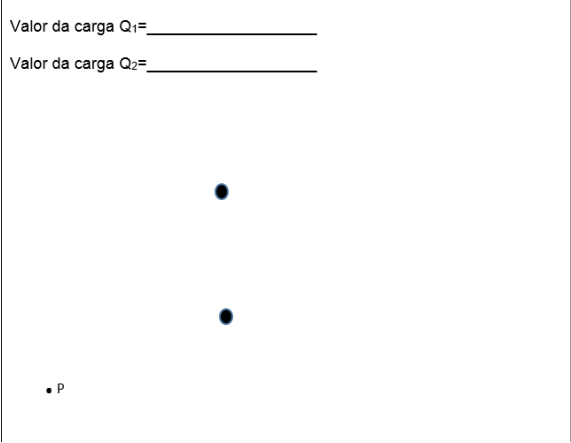
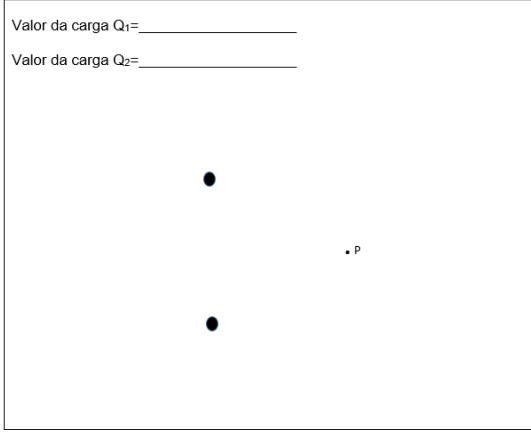
As situações-problema eram abertas, possibilitando que o aluno utilizasse qualquer representação, como esquemas, desenhos, conceitos ou equações para expressar o que estava sendo solicitado. Visto que, para Vergnaud (1993) em um campo conceitual existe uma variedade de situações em que os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que dão sentido aos conceitos e aos procedimentos que queremos que os alunos aprendam, e que toda situação complexa pode ser analisada com uma combinação de tarefas, onde os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com as quais é confrontado.

Visando investigar o conhecimento inicial dos alunos acerca dos conceitos relacionados ao campo conceitual da eletrostática, o pré-teste<sup>9</sup> consiste em quatro situações-problema abordadas no quadro 3.

Quadro 3: Situações-problema do pré-teste

	Situação-problema	Invariante Operatório	Representação simbólica
<b>Primeira</b>	<p>No quadro a seguir, encontramos distribuídas duas cargas positivas. Estas cargas, separadas por uma distância <math>d</math>, criam um campo elétrico resultante <math>\vec{E}_{RES}</math>. Dessa forma, represente no ponto <math>\mathbf{P}</math> o vetor campo elétrico <math>\vec{E}_1</math> (criado pela carga <math>Q_1</math>), <math>\vec{E}_2</math> (criado pela carga <math>Q_2</math>), e <math>\vec{E}_{RES}</math> o campo elétrico resultante, criado por ambas as cargas. Inicie atribuindo valores a elas.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>Valor da carga <math>Q_1</math>= _____</p> <p>Valor da carga <math>Q_2</math>= _____</p>  </div>	<p><i>Teoremas-em-ação:</i> A intensidade das interações elétricas de uma partícula depende da carga elétrica; Linhas de campo elétrico são usadas para visualizar a orientação e a intensidade dos campos; O vetor campo elétrico, em qualquer ponto do espaço, é tangente à linha de campo elétrico que passa por esse ponto; Campo elétrico produzido por uma carga varia com a distância.</p> <p><i>Conceitos-em-ação:</i> Identificação da <b>Carga elétrica positiva</b>; Quantidade de carga elétrica; Adição, subtração e decomposição de vetores; Identificação dos pontos no espaço; Associação de vetores escalares.</p>	<p>Diagramas de setas como de linhas de campo; Identificação vetor; ponto; linha de campo.</p>

<sup>9</sup> Encontra-se na íntegra no Apêndice A

<b>Segunda</b>	<p>Agora encontramos distribuídas duas cargas negativas, das quais você também deverá atribuir valores a elas. Estas cargas a uma distância <math>d</math>, criam um campo elétrico <math>\vec{E}</math>. Dessa forma, represente no ponto <math>P</math> o vetor campo elétrico <math>\vec{E}_1</math>, <math>\vec{E}_2</math> e <math>\vec{E}_{Res}</math> criado por estas cargas.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>Valor da carga <math>Q_1</math>= _____</p> <p>Valor da carga <math>Q_2</math>= _____</p>  </div>	<p><i>Teoremas-em-ação:</i> A intensidade das interações elétricas de uma partícula depende da carga elétrica; Linhas de campo elétrico são usadas para visualizar a orientação e a intensidade dos campos; O vetor campo elétrico, em qualquer ponto do espaço, é tangente à linha de campo elétrico que passa por esse ponto; Campo elétrico produzido por uma carga varia com a distância.</p> <p><i>Conceitos-em-ação:</i> Identificação da Carga elétrica <b>negativa</b>; Quantidade de carga elétrica; Adição, subtração e decomposição de vetores; Identificação dos pontos no espaço; Associação de vetores escalares.</p>	<p>Diagramas de setas como de linhas de campo; Identificação vetor; ponto; linha de campo.</p>
<b>Terceira</b>	<p>Por fim, encontramos distribuídas duas cargas, uma positiva e outra negativa, das quais você deverá também atribuir valores a elas. Estas cargas a uma distância <math>d</math>, criam um campo elétrico <math>\vec{E}</math>. Represente no ponto <math>P</math> o vetor campo elétrico <math>\vec{E}_1</math>, <math>\vec{E}_2</math> e <math>\vec{E}_{Res}</math> criado por estas cargas.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>Valor da carga <math>Q_1</math>= _____</p> <p>Valor da carga <math>Q_2</math>= _____</p>  </div>	<p><i>Teoremas-em-ação:</i> A intensidade das interações elétricas de uma partícula depende da carga elétrica; Linhas de campo elétrico são usadas para visualizar a orientação e a intensidade dos campos; O vetor campo elétrico, em qualquer ponto do espaço, é tangente à linha de campo elétrico que passa por esse ponto; Campo elétrico produzido por uma carga varia com a distância.</p> <p><i>Conceitos-em-ação:</i> Identificação da Carga elétrica <b>positiva e negativa</b>; Quantidade de carga elétrica; Adição, subtração e decomposição de vetores; Identificação dos pontos no espaço; Associação de vetores escalares.</p>	<p>Diagramas de setas como de linhas de campo; Identificação vetor; ponto; linha de campo.</p>

<b>Quarta</b>	<p>Escreva com suas próprias palavras, como se estivesse explicando para outro colega, o que é campo elétrico. Utilize, para tanto, se desejar, fórmulas, digramas, desenhos, imagens, etc. O que considerar necessário.</p>	<p><i>Teoremas-em-ação:</i> A intensidade das interações elétricas de uma partícula depende da carga elétrica; Linhas de campo elétrico são usadas para visualizar a orientação e a intensidade dos campos; O vetor campo elétrico, em qualquer ponto do espaço, é tangente à linha de campo elétrico que passa por esse ponto; Campo elétrico produzido por uma carga varia com a distância; Força elétrica exercida por uma carga sobre outra é uma força de ação à distância, similar a força gravitacional exercida por uma massa sobre a outra</p> <p><i>Conceitos-em-ação:</i> Identificação da Carga elétrica <b>positiva e negativa</b>; Quantidade de carga elétrica; Adição, subtração e decomposição de vetores; Identificação dos pontos no espaço; Associação de vetores escalares; Força; Energia; Interação e objetos.</p>	<p>Diagramas de setas como de linhas de campo; Identificação vetor; ponto; linha de campo.</p>
---------------	--	---	--

Fonte: A pesquisa.

No pós-teste, realizado depois da simulação computacional no GeoGebra, as situações-problema eram semelhantes àsquelas do pré-teste, porém, nosso objetivo estava em encontrar evidências na construção e/ou modificados de imagens mentais associada ao uso de diferentes mecanismo externos de mediação no domínio das situações-problema. Deixamos em aberto o tempo para responder as situações-problemas.

#### 5.2.1.2 Guia de atividade

O guia de atividade tinha a pretensão de orientar as duplas no desenvolvimento da simulação no GeoGebra, referente a campo elétrico. A atividade foi fundamentada no método P.O.E. (*Predict-Observe-Explain*), que significa predizer-observar-explicar (TAO; GUNSTONE, 1999). Em todas as situações apresentadas aos estudantes, eles deveriam realizar

uma previsão, registrando no roteiro, fazer a simulação, novamente registrar no roteiro, e, finalmente, comparar os dois resultados.

Todas as situações-problema do guia eram abertas, cujo intuito era de deixar livre para que os alunos pudessem expressar as suas respostas como achassem necessário. Cada circunstância foi elaborada para que a abordagem contemplasse as diversas situações que envolvessem campo elétrico, dos quais o objetivo era auxiliar o aluno na aprendizagem sobre o vetor campo elétrico resultante. Sendo que, um conceito será significativo para o sujeito por intermédio de variadas situações referentes a este conceito (VERGNAUD, 2013). O roteiro completo encontra-se no Apêndice B.

O guia inicia-se com um texto Figura 16, explicando o conceito de campo elétrico, com o intuito de situar o aluno conceitualmente sobre a atividade que será realizada.

Figura 16: Texto explicativo sobre campo elétrico.

**Conceito de Campo Elétrico**

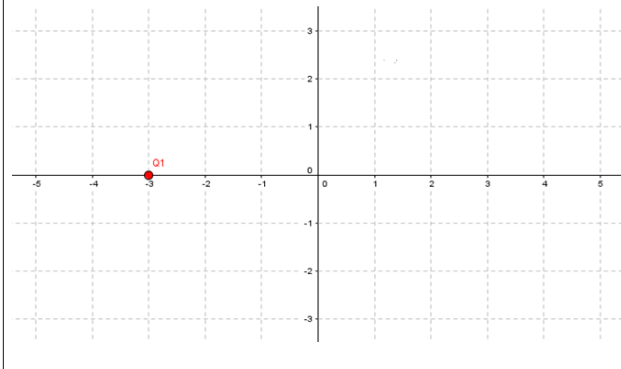
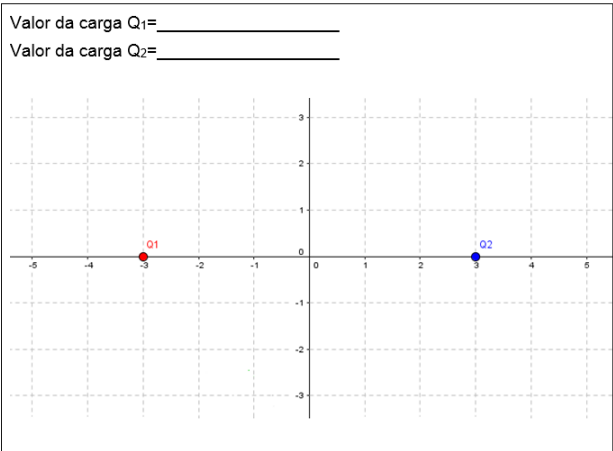
O cientista inglês Michael Faraday, introduziu a ideia de campo elétrico  $\vec{E}$ , no século XIX. Segundo a física, campo elétrico é um campo vetorial, no qual consiste em uma distribuição de vetores, um para cada ponto de uma região em torno de um objeto eletricamente carregado. As linhas de campo elétrico se afastam quando positivas e se aproximam quando negativas. Dessa forma, uma força eletrostática  $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ , age sobre uma carga, e seu vetor campo elétrico  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$  é criado. Assim o módulo do campo elétrico em um determinado ponto é  $E$ , e a orientação de  $\vec{E}$  é a  $\vec{F}$  que age sobre esse ponto. Lembrando que o vetor identifica o sentido do campo elétrico gerado pela carga.

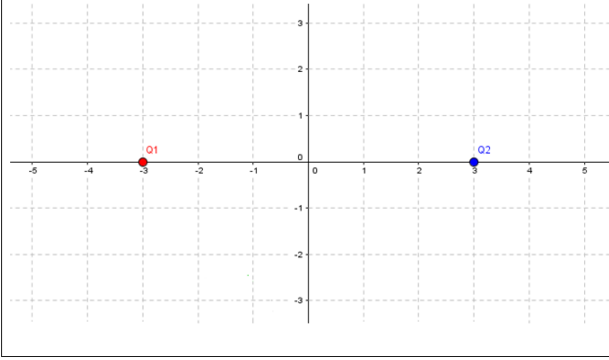
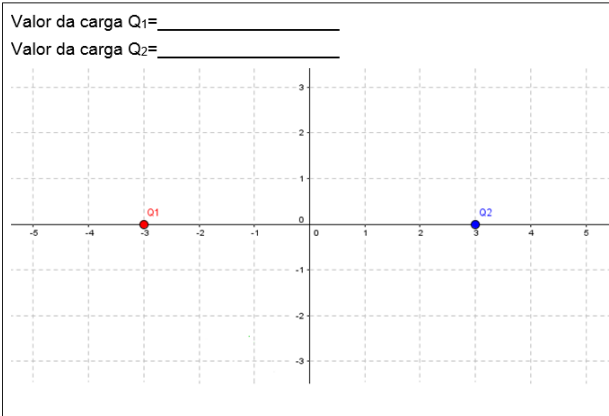
Fonte: A pesquisa.

Após o texto, o guia estava organizado com cinco situações-problema voltadas ao campo elétrico resultante  $\vec{E}_{RES}$ , produzido por diferentes intensidades de cargas. Todas as situações estavam enquadradas na técnica P.O.E. Detalharemos a seguir as situações.

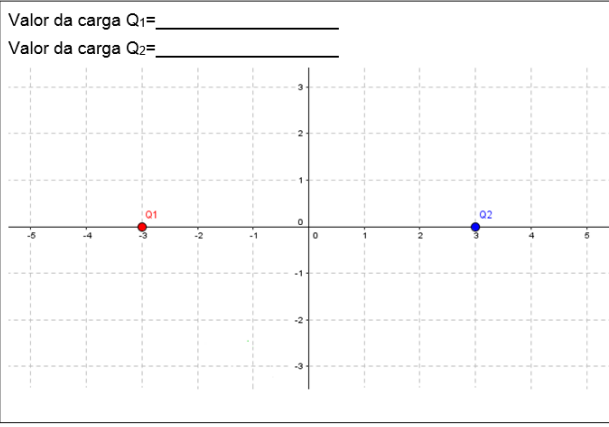
Quadro 4: Situações-problema do guia de atividade do aluno

	<b>Situação-problema</b>	<b>Invariante Operatório</b>	<b>Representação simbólica</b>
<b>Primeira</b>	No quadro a seguir, encontra-se distribuída uma carga positiva $Q_1$ , a qual você deve atribuir um valor. Em seguida, esboce um ponto em algum lugar da imagem abaixo, utilize a letra <b>A</b> para representar o ponto escolhido. De acordo com seus conhecimentos, trace o vetor campo elétrico $\vec{E}_1$ neste ponto.	<i>Teoremas-em-ação:</i> A intensidade das interações elétricas de uma partícula depende da carga elétrica; Linhas de campo elétrico são usadas para visualizar a orientação e a intensidade dos campos; O vetor campo elétrico, em qualquer ponto do	Diagramas de setas como de linhas de campo; Identificação vetor; ponto; linha de campo.

	<p>Valor da carga <math>Q_1 =</math> _____</p> 	<p>espaço, é tangente à linha de campo elétrico que passa por esse ponto; Campo elétrico produzido por uma carga varia com a distância.</p> <p><i>Conceitos-em-ação:</i>          Identificação da <b>Carga elétrica positiva</b>; Quantidade de carga elétrica; Adição, subtração e decomposição de vetores; Identificação dos pontos no espaço; Associação de vetores escalares.</p>	
<p>Segunda</p>	<p>No quadro a seguir, encontram-se duas cargas de mesmo sinal, <math>Q_1</math> e <math>Q_2</math>. Escolha dois valores para as cargas. Na sequência, esboce um ponto (<b>A</b>) na posição de sua escolha, “dentro” das limitações da figura abaixo.</p> <p>Como você acha que ficará o vetor campo elétrico <math>\vec{E}_1, \vec{E}_2</math> neste ponto? Determine/desenhe o vetor campo elétrico resultante <math>\vec{E}_{Res}</math> no ponto.</p> <p>Valor da carga <math>Q_1 =</math> _____          Valor da carga <math>Q_2 =</math> _____</p> 	<p><i>Teoremas-em-ação:</i> A intensidade das interações elétricas de uma partícula depende da carga elétrica; Linhas de campo elétrico são usadas para visualizar a orientação e a intensidade dos campos; O vetor campo elétrico, em qualquer ponto do espaço, é tangente à linha de campo elétrico que passa por esse ponto; Campo elétrico produzido por uma carga varia com a distância.</p> <p><i>Conceitos-em-ação:</i>          Identificação da Carga elétrica <b>positiva e negativa</b>; quantidade de carga elétrica, princípio da atração e repulsão, intensidade do campo elétrico, identificação dos pontos no espaço, deslocamento, associação de grandezas escalares e vetoriais, decomposição cartesiana de um vetor e método do paralelogramo.</p>	<p>Diagramas de setas como de linhas de campo; Identificação vetor; ponto; linha de campo.</p>
<p>Terceira</p>	<p>No quadro a seguir, encontram-se duas cargas de sinais contrários <math>Q_1</math> e <math>Q_2</math>, uma positiva e a outra negativa, atribua valores a essas cargas. Após, escolha um ponto determinado <b>A</b> no espaço e represente-o.</p> <p>Como você acha que ficará o vetor campo elétrico <math>\vec{E}_1, \vec{E}_2</math> neste ponto? Determine/desenhe o vetor campo elétrico resultante <math>\vec{E}_{Res}</math> neste ponto.</p>	<p><i>Teoremas-em-ação:</i> A intensidade das interações elétricas de uma partícula depende da carga elétrica; Linhas de campo elétrico são usadas para visualizar a orientação e a</p>	<p>Diagramas de setas como de linhas de campo; Identificação vetor; ponto; linha de campo.</p>

	<p>Valor da carga <math>Q_1 =</math> _____          Valor da carga <math>Q_2 =</math> _____</p> 	<p>intensidade dos campos;          O vetor campo elétrico, em qualquer ponto do espaço, é tangente à linha de campo elétrico que passa por esse ponto;          Campo elétrico produzido por uma carga varia com a distância.</p> <p><i>Conceitos-em-ação:</i>          Identificação da Carga elétrica <b>positiva e negativa</b>; quantidade de carga elétrica, princípio da atração e repulsão, intensidade do campo elétrico, identificação dos pontos no espaço, deslocamento, associação de grandezas escalares e vetoriais, decomposição cartesiana de um vetor e método do paralelogramo.</p>	
<p>Quarta</p>	<p>No quadro a seguir, encontram-se duas cargas de sinais contrários <math>Q_1</math> e <math>Q_2</math>, uma positiva e a outra negativa, atribua os seguintes valores para as cargas <math>Q_1 = 1 \times 10^{-9} \text{C}</math> e <math>Q_2 = -1 \times 10^{-9} \text{C}</math>. Após, trace o ponto A na origem (0,0) e represente-o.</p> <p>Como você acha que ficará o vetor campo elétrico <math>\vec{E}_1</math>, <math>\vec{E}_2</math> neste ponto? Determine/desenhe o vetor campo elétrico resultante <math>\vec{E}_{Res}</math> neste ponto.</p> <p>Valor da carga <math>Q_1 =</math> _____          Valor da carga <math>Q_2 =</math> _____</p> 	<p><i>Teoremas-em-ação:</i> A intensidade das interações elétricas de uma partícula depende da carga elétrica; Linhas de campo elétrico são usadas para visualizar a orientação e a intensidade dos campos; O vetor campo elétrico, em qualquer ponto do espaço, é tangente à linha de campo elétrico que passa por esse ponto; Campo elétrico produzido por uma carga varia com a distância.</p> <p><i>Conceitos-em-ação:</i>          Identificação da Carga elétrica <b>positiva e negativa</b>; quantidade de carga elétrica, princípio da atração e repulsão, intensidade do campo elétrico, identificação dos pontos no espaço, deslocamento, associação de grandezas escalares e vetoriais, decomposição cartesiana de um vetor e método do paralelogramo.</p>	<p>Diagramas de setas como de linhas de campo; Identificação vetor; ponto; linha de campo.</p>



Quinta	<p>No quadro a seguir, encontram-se duas cargas de sinais iguais <math>Q_1</math> e <math>Q_2</math>, sendo duas positivas, atribua os seguintes valores para as cargas <math>Q_1 = 1 \times 10^{-9} \text{C}</math> e <math>Q_2 = 1 \times 10^{-9} \text{C}</math>. Após, trace o ponto <b>A</b> na origem (0,2) e represente-o.</p> <p>Como você acha que ficará o vetor campo elétrico <math>\vec{E}_1</math>, <math>\vec{E}_2</math> neste ponto? Determine/desenhe o vetor campo elétrico resultante <math>\vec{E}_{RES}</math> neste ponto.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;">       Valor da carga <math>Q_1 =</math> _____        Valor da carga <math>Q_2 =</math> _____     </div> 	<p><i>Teoremas-em-ação:</i> A intensidade das interações elétricas de uma partícula depende da carga elétrica; Linhas de campo elétrico são usadas para visualizar a orientação e a intensidade dos campos; O vetor campo elétrico, em qualquer ponto do espaço, é tangente à linha de campo elétrico que passa por esse ponto; Campo elétrico produzido por uma carga varia com a distância.</p> <p><i>Conceitos-em-ação:</i> Identificação da Carga elétrica <b>positiva</b>; quantidade de carga elétrica, princípio da atração e repulsão, intensidade do campo elétrico, identificação dos pontos no espaço, deslocamento, associação de grandezas escalares e vetoriais, decomposição cartesiana de um vetor e método do paralelogramo.</p>	<p>Diagramas de setas como de linhas de campo; Identificação vetor; ponto; linha de campo.</p>
--------	--	---	--

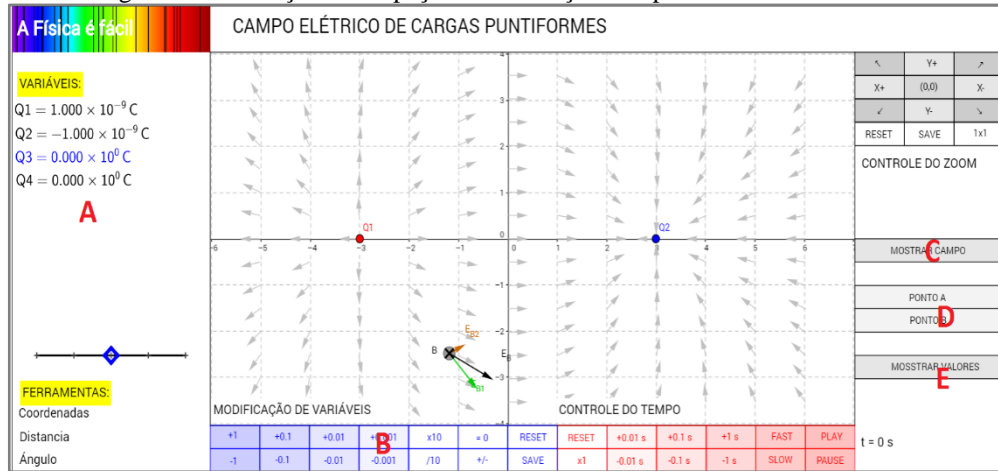
Fonte: A pesquisa.

### 5.2.1.3 Simulação

A simulação escolhida está disponível em <<https://www.geogebra.org/m/eHyU8ZmU>> conforme a figura 17, refere-se ao conteúdo da Eletrostática que é o estudo de cargas em

repouso. Nesta simulação é possível visualizar o vetor campo elétrico gerado pelas cargas, as quais indicam a intensidade e a direção do campo.

Figura 17: Descrição dos espaços na simulação computacional no GeoGebra.



Fonte: <https://www.geogebra.org/m/eHyU8ZmU>

Destacamos aqui os elementos presentes na simulação, com o detalhamento de alguns comandos de funções disponíveis para o desenvolvimento das situações-problema envolvendo o campo conceitual da eletrostática.

**A e B:** Determina o valor da carga selecionada: permite a inclusão da quantidade da carga elétrica, tornando o objeto com excesso de elétrons, carregado negativamente, ou com deficiência de elétrons tornando-se portanto, carregado positivamente. Permite também, a escolha de uma, duas, três ou até quatro cargas elétricas.

**C:** Escolha da visualização do campo elétrico: permite escolher a representação do campo elétrico gerado pelas cargas presentes na simulação, mostrando as linhas de força através da direção e sentido da força elétrica exercida pela carga.

**D:** Determina o ponto que será visualizado o vetor campo elétrico: permite a escolha de pontos no espaço, possibilitando a observação do campo elétrico produzido pela carga neste ponto.

**E:** Aponta o valor do campo elétrico no ponto selecionado: possibilita verificar os módulos do campo elétrico e suas resultantes vetorialmente.

Utilizamos o GeoGebra como tecnologia computacional, com o intuito de promover a motivação nos alunos, a compreensão das informações, a contextualização e a possibilidade de verificar se o conhecimento foi de fato adquirido ou modificado.

#### 5.2.1.4 Entrevista

Para a entrevista utilizamos a técnica *Report Aloud* em que o estudante reporta o seu processo de pensamento enquanto responde às questões, associadas à análise de gestos descritivos. Nesta técnica, o pesquisador não tem conhecimento dos passos utilizados pelo estudante no momento da execução da tarefa, então, questiona-se sobre quais os processos de execução da atividade.

As entrevistas individuais foram adaptadas da técnica *Think Aloud* de Van-Someren; Barnard, Sandberg (1994), do protocolo *Report Aloud* de Ramos (2015), Wolff (2015), Trevisan (2016) e Veloso (2017). Na técnica *Think Aloud* a pessoa que está entrevistando mantém o diálogo constante enquanto o estudante responde o questionário, ou seja, ele pensa em voz alta durante a execução da atividade. Na técnica *Report Aloud*, o aluno informa o entrevistador o seu processo de pensamento quando estava respondendo as questões, ou seja ele primeiro realiza as questões e depois explica o que fez (TREVISAN, 2016).

A vantagem do protocolo original *Think Aloud* é que os alunos resolvem as questões e, ao mesmo tempo, explicam o seu raciocínio ao entrevistador e a desvantagem é que o aluno pode sentir-se pressionado a responder de forma correta e rápida com a presença de outra pessoa que o observa ao longo do desenvolvimento das questões. Já a técnica *Report Aloud* é desfavorável em relação ao entrevistador não saber, com certeza, se os passos relatados pelo aluno foram efetivamente os mesmos utilizados para a resolução do problema, porém o processo de resolução dos problemas propostos não é perturbado pela técnica e ocorre mais naturalmente (TREVISAN, 2016).

Ramos (2015), Wolff (2015), Trevisan (2016) e Veloso (2017) utilizaram a Técnica *Report Aloud*, e observaram que mesmo com intervalo de alguns dias entre a atividade com a resolução das questões e a realização da entrevista, o aluno lembrava dos desencadeamentos que aplicou na atividade. Este protocolo *Report Aloud* o aluno reporta o seu processo de pensamento ao entrevistador, referente ao que resolveu/respondeu sobre as situações.

As entrevistas foram sucedidas individualmente alguns dias depois da realização do pós-teste, em horários extraclasse, normalmente no vespertino, o agendamento ocorreu por contato em sala de aula, com adequação às disponibilidades dos alunos.

O objetivo da entrevista estava voltado na explicação do aluno em relação ao desenvolvimento da atividade, quais estratégias utilizou para responder as perguntas que

constavam no pré e pós-teste, apontando a descrição dos processos de pensamentos desencadeados para a resolução das situações-problema.

Iniciávamos a entrevista com questionamentos referente a primeira situação-problema do pré-teste ocorrida antes da simulação, identificando as imagens mentais e os *drivers* existentes relacionados a eletrostática, em seguida o questionamento da primeira situação-problema do pós-teste, procurando detectar indícios de representações adquiridos ou alterados após a simulação.

Durante as entrevistas, buscamos um maior aprofundamento na identificação das imagens mentais e *drivers*, explorando as imagens mentais que identificavam a origem de carga elétrica e campo elétrico. À medida que cada entrevista evoluía, acrescentávamos novos questionamentos, buscando constantemente a comparação entre o pré e pós-teste. As declarações foram gravadas, transcritas e codificados os gestos realizados.

#### 5.2.1.5 Transcrição e gestos

Cada aluno recebeu individualmente o pré-teste antes da realização da simulação computacional no GeoGebra, intitulado “Campo elétrico de cargas puntiformes” e o pós-teste depois da simulação e o termo de consentimento. Estes alunos foram renomeados, a fim de identificá-los e preservar seus nomes originais. Consequentemente passaram a ser: aluna 1, aluno 2, aluna 3 e aluno 4 do experimento piloto; aluno 5, aluna 6, aluno 7, aluna 8 e aluna 9 do experimento definitivo (Figura 18).

Figura 18: Descrição dos alunos envolvidos na pesquisa.



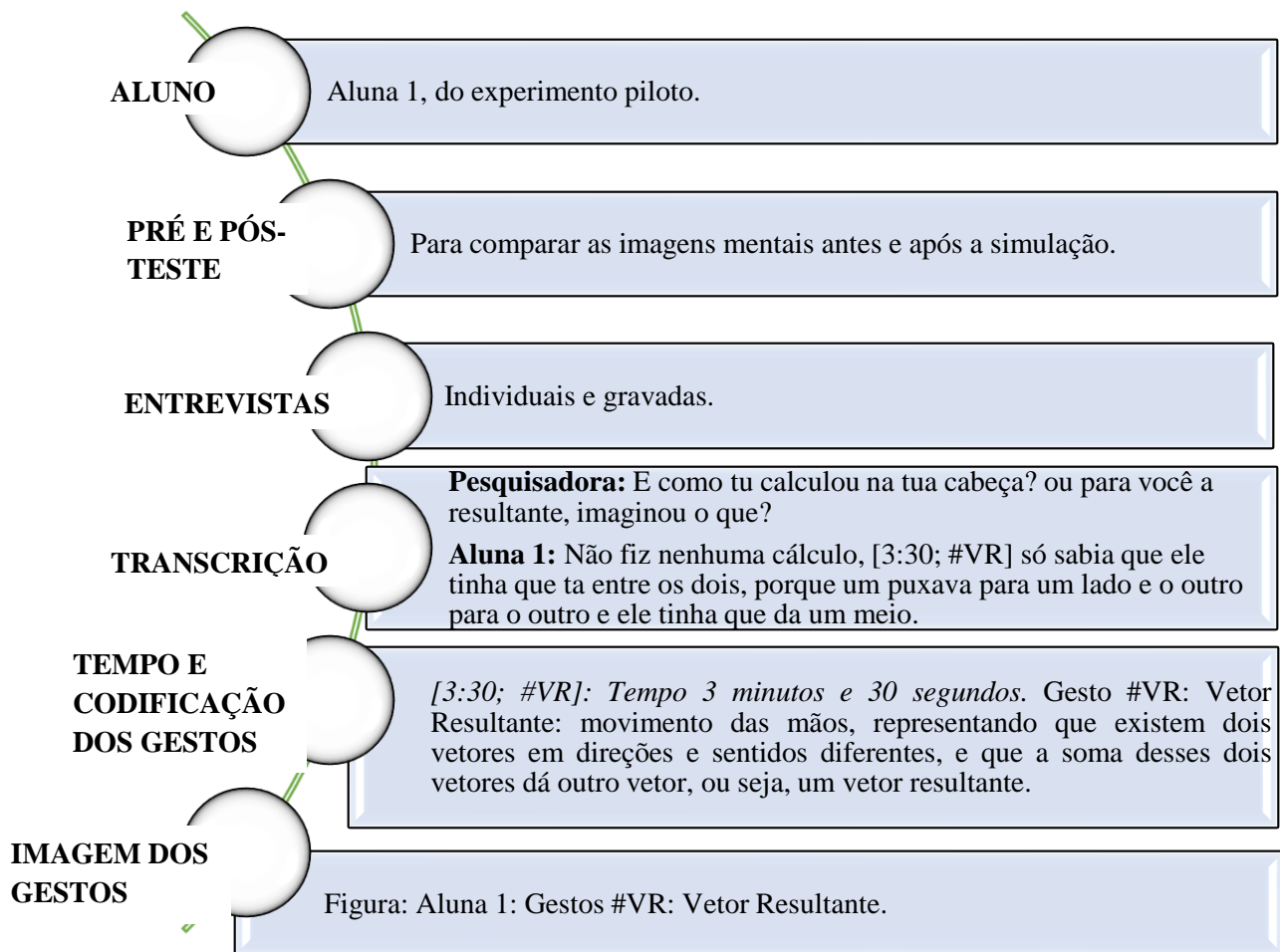
Fonte: A pesquisa.

Após a entrevista gravada, realizamos a transcrição de cada aluno e a codificação dos gestos, passando assim, a identificar as representações das imagens e as mediações individuais ocorridos e utilizadas durante o processo de desenvolvimento da atividade.

A categorização dos gestos gerados pelos alunos encontra-se no Apêndice E. As transcrições estão disponíveis em: [https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1sz3satzz5iMMX5\\_yTYO7iKjsJwaih14u?ogsrc=32](https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1sz3satzz5iMMX5_yTYO7iKjsJwaih14u?ogsrc=32).

Seguidamente apontamos um trecho para melhor compreensão (Figura 19) da organização de produção dos dados.

Figura 19: Exemplo de produção de dados.



Fonte: A pesquisa.

### 5.2.3 Terceiro Princípio: análise e conclusão

E o terceiro e último princípio refere-se em manter o encadeamento de evidências, ou seja, condicionar a confiabilidade das informações por intermédio de suficientes citações relevantes da base de dados do estudo de caso, mostrando que a produção de dados seguiu os procedimentos estabelecidos, “no conjunto, você pôde ir de uma parte do estudo de caso para outra, tendo uma clara referência cruzada aos procedimentos metodológicos e às provas resultantes” (YIN, 2001, p. 129).

Com a intenção de analisar a linguagem verbal presente na produção de dados, utilizamos a Análise Textual Discursiva proposta por Moraes e Galiazzi (2007), que envolve identificar e isolar enunciados dos materiais submetidos à análise, categorizar esses enunciados e produzir textos, integrando neles descrição e interpretação, utilizando como base de sua construção o sistema de categorias construído.

A partir das evidências, apontar as mediações cognitivas ocorridas durante a atividade desenvolvida no campo conceitual da eletrostática, por intermédio dos metatextos de (MORAES; GALIAZZI, 2007), sendo o produto final de uma Análise Textual Discursiva, “[...] expressão por meio da linguagem das principais ideias emergentes das análises e apresentação dos argumentos construídos pelo pesquisador em sua investigação, capaz de comunica a outros as novas compreensões atingidas” (MORAES; GALIAZZI, 2007, p. 94).

E Análise Gestual Descritiva em relação aos gestos dos alunos, baseada em Monaghan e Clement (1999) e Clement, Stephens (2010), no qual afirmam que quando os alunos utilizam os movimentos das mãos estão sugerindo imagens dinâmicas de simulações mentais durante a resolução de problemas de movimento relativo.

Ramos (2015), Wolff (2015), Trevisan (2016) e Veloso (2017), sugerem uma relação entre imagens mentais presentes na estrutura cognitiva do aluno e gestos realizados pelo mesmo, uma vez que os gestos poderão fornecer indicações que não são reconhecidas através da fala, auxiliando na transmissão de informação. A informação transmitida gestualmente está relacionada com a transmitida verbalmente, os gestos possuem uma linguagem própria, e não complemento da linguagem verbal, dado que a união desses dois recursos é considerada importante produção de dados na identificação das imagens mentais adquiridas e/ou modificados após as atividades desenvolvidas.

E por fim, de natureza qualitativa de Erickson (1986) as hipóteses geradas durante o processo investigativo através da discussão dos universais, com a identificação de determinados

conceitos em mais que um aluno, apontando a discussão dos universais abstratos e universais concretos.

Conforme Erickson (1986) os universais abstratos são através de generalizações estatísticas de amostras para população, o pesquisador pode perceber a universalidade que ocorre com todos os alunos, tal como, as particularidades que podem existir, onde “a tarefa do analista é descobrir as diferentes camadas de universalidade e particularidade que são confrontadas no caso específico em questão - o que é amplamente universal, o que generaliza para outras situações semelhantes (ERICKSON,1986, p. 130)”.

Assim, a principal preocupação da pesquisa interpretativa é particularidade, em vez de generalização e isso só pode ser feito, sustentado os pesquisadores interpretativos, atendendo aos detalhes do caso analisado em questão.

E os universais concretos segundo Erickson (1986), está relacionado com um estudo profundo de casos específicos com grande detalhe, por intermédio das particularidades de cada aluno, na busca de credibilidade para os modelos interpretativos servindo de comparação com outros estudos de igual detalhe. Uma vez que os interesses estão conectados tanto no geral com no universal.

### 5.3 CONTEXTO DA PESQUISA

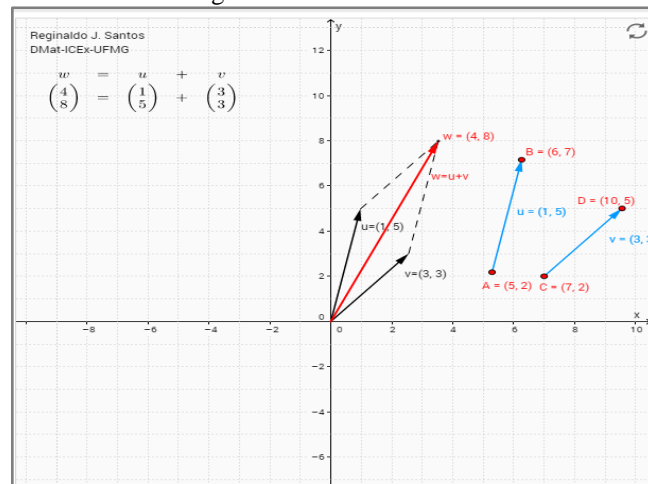
Apresentaremos um histórico de investigação sobre as ações desenvolvidas nos experimentos para a produção dos dados e sujeitos envolvidos, discutindo a trajetória sobre a construção da atividade computacional, o experimento piloto e o experimento definitivo.

#### 5.3.1 Trajetória do experimento

No primeiro semestre de 2016, com sete estudantes, sendo seis do sexo masculino e uma do sexo feminino, na disciplina de Física Geral III do curso de Engenharia Mecânica de uma Instituição do Ensino Superior privada do interior do Rio Grande do Sul, onde a pesquisadora era a professora regente.

Iniciou-se a aplicação de um *software* referente a vetores (Figura 20), na tentativa de explorar o conceito de vetor campo elétrico em sala de aula, verificando se havia diferença ao utilizar *tablet* e computadores no ensino.

Figura 20: Soma de vetores.



Fonte: <https://www.geogebra.org/m/rZPK4Zcm>.

As duplas apresentaram-se individualmente, o que serviu como base inicial para estudar a adequação da atividade. Os materiais de produção dos dados, como o pré-teste, o guia de atividade do aluno e o pós-teste, estão detalhados na seção “Instrumentos de produção de dados<sup>10</sup>”.

Cada aluno realizou o pré-teste individualmente e, após, a simulação computacional, com ajuda de um guia de atividade. Alguns dias depois, os alunos realizaram o pós-teste e as entrevistas individualmente. Disponibilizamos para uma das duplas o *tablet* e para a outra o computador.

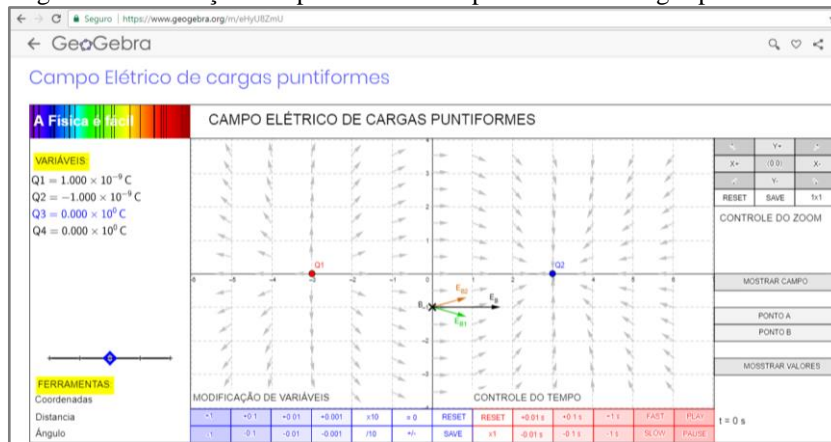
Após as entrevistas e análise dos resultados, essa simulação computacional não foi levada adiante, em virtude da dificuldade dos alunos em associar vetores aos conceitos da eletrostática. Resultado positivo foi a interação entre aluno e *tablet*. Concluímos que era importante o aluno ter contato com a simulação, ou seja, manipular com o dedo, existindo uma maior apropriação do recurso estudado.

A partir disso, localizamos *softwares* livres na internet porém, não contemplavam os objetivos desta pesquisa, uma vez que não abordavam corretamente os vetores associados com a intensidade das cargas. Por fim, localizamos no GeoGebra uma simulação de interação entre cargas elétricas (Figura 21), permitindo ao aluno interagir com a simulação computacional.

<sup>10</sup> Seção 4.3 presente no capítulo 4 Metodologia.



Figura 21: Simulação computacional: Campo elétrico de cargas puntiformes.



Fonte: <https://www.geogebra.org/m/eHyU8ZmU>

Então, no final do primeiro semestre de 2016, com os demais alunos, reaplicação as atividades anteriores, com a diferença sendo apenas a simulação computacional escolhida, um aluno executou a atividade no computador, e dois no *tablet*. A partir dos resultados, definimos esta atividade como uma validação para aplicar nas turmas de Engenharia. Esses experimentos de caráter investigativo não constam na discussão deste trabalho e serviram como orientação para o experimento piloto e experimento definitivo, delineados a seguir.

### 5.3.2 Experimento piloto

O experimento piloto de caráter exploratório com a simulação computacional no GeoGebra, intitulado “Campo elétrico de cargas puntiformes”, foi desenvolvido no segundo semestre de 2016, com quatro alunos do sexto semestre do curso de Licenciatura em Física, Ensino Superior, de uma Instituição do Ensino Superior privada do Rio Grande do Sul, que se disponibilizaram espontaneamente para a realização da atividade.

Os discentes responderam individualmente o pré-teste e depois foram organizados em duas duplas; uma utilizou o *tablet*, e a outra, o computador com o GeoGebra. Duas semanas após a simulação, os alunos retornaram e responderam o pós-teste e a entrevista. A pesquisadora até o momento da investigação não havia tido nenhum contato com esses alunos.

Com esse grupo, trabalhamos apenas a Teoria da Mediação Cognitiva em virtude de ser a primeira produção dos dados analisados. Esperávamos que as análises apontassem que a mediação hipercultural predominava no estudo sobre vetor campo elétrico resultante devido a simulação computacional no GeoGebra, no entanto percebemos que a interação social era

surpreendentemente importante, devido as entrevistas<sup>11</sup> realizadas individualmente após a interação com a simulação computacional.

Sendo assim, aplicamos a mesma sequência de atividade com outros quatro alunos do primeiro semestre (calouros), dos cursos de Engenharia Civil e Mecânica, de uma Instituição do Ensino Superior privada do interior do Rio Grande do Sul, onde a pesquisadora era a professora titular, a fim de investigar se a interação social também se sobressairia na análise.

Porém, os alunos do primeiro semestre não conseguiram desenvolver a atividade, apresentando confusão na parte conceitual, visto que, para a realização das tarefas, era necessário que o aluno tivesse estudado o conteúdo de campo elétrico. Apenas a simulação computacional não dava conta para a análise dos dados produzidos, não apresentando nos alunos mudança de *drivers* em relação ao conteúdo de campo elétrico.

Sendo assim, em virtude do resultado desse segundo grupo de alunos dos cursos de Mecânica e Civil, consideramos como experimento piloto apenas aquele com os quatro estudantes que frequentavam o sexto semestre, por já terem concluído a disciplina de Eletromagnetismo, sendo a principal fonte de dados para o delineamento da pesquisa e auxiliando-nos na elaboração do experimento definitivo, devido à grande quantidade de registros – escritos, verbais e gestuais. Esse experimento piloto rendeu uma publicação em um evento da Área de Ensino de Ciências (MEGGIOLARO; CUNHA, SERRANO, 2017)<sup>12</sup> e uma publicação em um periódico da Área de Matemática (MEGGIOLARO, ANDRADE NETO, 2017)<sup>13</sup>.

Para essa simulação do GeoGebra, devido à demora do processamento do *tablet*, acabamos descartando a utilização deste e focando somente na simulação realizada no computador. Após a aplicação dos instrumentos de produção, para o experimento piloto, providenciamos a modificação de uma situação-problema no guia de simulação referente ao campo elétrico, em razão do grande número de repetições da mesma pergunta.

---

<sup>11</sup> Apresentada da seção 5.2.1.4

<sup>12</sup> MEGGIOLARO, G.; CUNHA, L.; SERRANO. A.A relação entre as formas de mediação, na perspectiva da TMC, e a compreensão do conceito de carga elétrica. **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis, SC. 3 a 6 de julho de 2017.

<sup>13</sup> MEGGIOLARO, G.; ANDRADE NETO, A. Qual mediação sobressai no aprendizado de soma vetorial? Uma investigação no ensino de campo elétrico em física. **Educação Matemática em Revista**. Canoas n. 18. p. 154 - 165, 2017.

### 5.3.3 Experimento definitivo

Partimos do resultado do experimento exploratório em que a mediação social e cultural sobressaíram da mediação psicofísica e hipercultural para organizarmos o experimento definitivo. Logo, optamos em mudar de público, trabalhando com alunos que não faziam parte do curso da Física e nem da docência, mas sim, de outros cursos do Ensino Superior.

Desta maneira, o experimento definitivo foi realizado com duas turmas do componente de Física Geral III, de uma Instituição do Ensino Superior privada do interior do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre de 2017. Envolveu 57 alunos no total: 27 alunos do curso de Engenharia Mecânica (três do sexo feminino e 24 do sexo masculino) e 30 alunos do curso de Engenharia Civil (18 do sexo feminino e 12 do sexo masculino). Os alunos realizaram o pré-teste individualmente antes da simulação computacional no GeoGebra ser executado em duplas, com o auxílio do guia de simulação e da professora. Decorridas duas semanas, os estudantes realizaram o pós-teste, com as mesmas perguntas iniciais.

As entrevistas foram realizadas um mês após a aplicação do pós-teste, fora do horário de aula, com a técnica *Report Aloud*. Por intermédio de sorteio, cinco estudantes de cada turma foram contemplados: no curso de Engenharia Mecânica, todos do sexo masculino; no curso de Engenharia Civil, dois do sexo masculino e três do sexo feminino.

Examinando as turmas e os materiais produzidos no pré-teste, pós-teste e entrevistas, optamos em não realizar a produção dos dados dos cinco alunos da Engenharia Mecânica<sup>14</sup>, pois eles não preencheram certos requisitos conceituais. Sendo assim, a análise da produção dos dados foram efetivadas com os estudantes da turma de Engenharia Civil, devido ao grande envolvimento, desempenho em sala de aula, capacidade de representação e assimilação da atividade proposta.

Para a análise dos dados produzidos além da Teoria da Mediação Cognitiva percebemos que os alunos apresentavam mediações diferentes para explicar como resolveu as situações-problema. Por exemplo, para explicar sobre intensidade da carga elétrica, os alunos evidenciaram os mecanismos externos de mediação psicofísico, social, cultural e hipercultural, não existindo um padrão, ou seja, cada aluno internalizava de diferentes maneiras os conceitos aprendidos. Portanto, achamos importante aprofundar as análises, no qual também apoiamos na

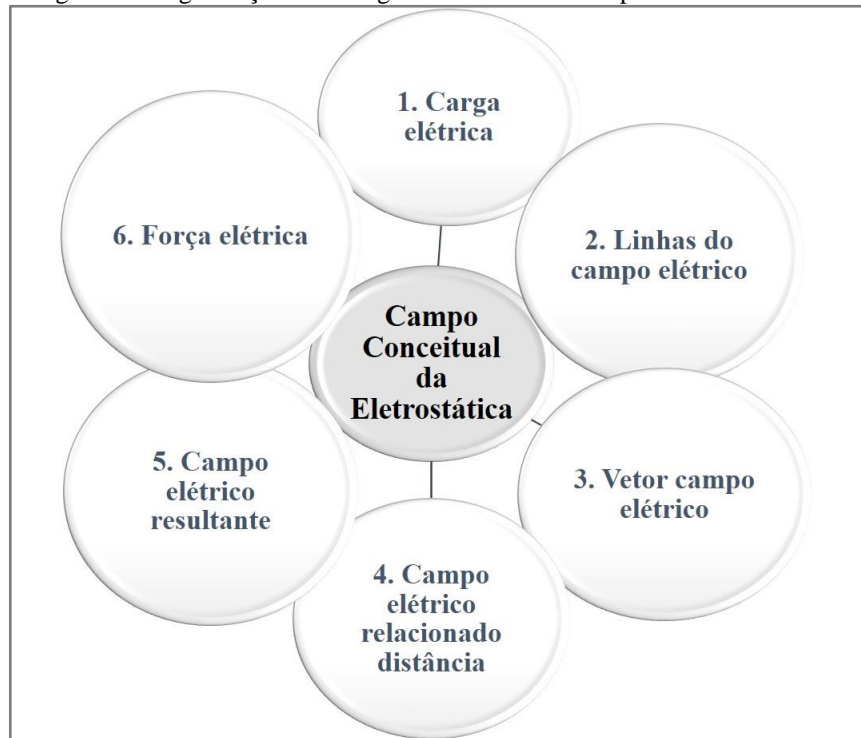
---

<sup>14</sup> Os materiais produzidos ao longo das atividades realizadas com os acadêmicos da Engenharia Mecânica, serão contemplados nos desdobramentos de futuros trabalhos.

Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud para termos subsídios para justificar as mediações interligadas com situações-problema.

Diante disso, com a metodologia adotada e descrita nesse capítulo emergiram seis categorias (Figura 22) de análises em relação ao campo conceitual da eletrostática que serão abordadas na análise do experimento definitivo<sup>15</sup>.

Figura 22: Organização das categorias de análise do experimento definitivo.



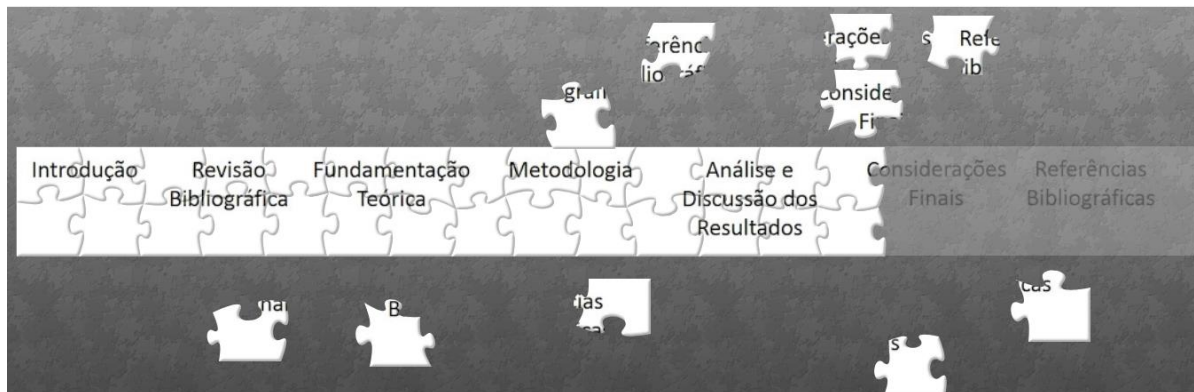
Fonte: A pesquisa.

A seguir, será tratada a análise e discussão dos resultados separados pelos dois experimentos realizados.

---

<sup>15</sup> Capítulo 6, seção 6.2.

## 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS



Fonte: A pesquisa.

As análises dos dados ocorrem a partir da produção dos pré e pós-testes e da entrevista realizada. Baseamo-nos na teoria da TMC por meio das mediações cognitivas, sendo que Souza (2004) discute sobre o desenvolvimento dos processos mentais e TCC sobre a construção do campo conceitual.

Para responder a primeira pergunta: Como os mecanismos externos de mediação e as situações-problema se entrelaçam quando um aluno progride no domínio do campo conceitual ao resolver um problema de eletrostática?

No entanto, para respondê-lo, torna-se necessário, primeiramente, responder à questão: Os alunos do ensino superior apresentaram evidências de modificação e/ou construção de imagens mentais e *drivers* acerca do conceito de campo elétrico durante a trajetória acadêmica?

No sentido de compreender se ocorreu uma evolução conceitual, nossa análise constituiu-se na discussão sobre o conceito de carga elétrica e campo elétrico, juntamente com suas peculiaridades que foram surgindo nas análises, separadas primeiramente do experimento piloto no qual os quatro alunos evidenciaram as imagens mentais ligadas diretamente ao professor, ou seja, oriundos da interação social e cultural que os estudantes tiveram com os seus respectivos professores em sala de aula. E posteriormente com o experimento definitivo no qual os cinco alunos evidenciaram diferentes *drivers* para o mesmo conceito nos dando subsídios para responder nosso problema de pesquisa e alcançando os objetivos deste trabalho.

## 6.1 EXPERIMENTO PILOTO

A análise apresentada refere-se ao experimento piloto, abordaremos aqui apenas o estudo sobre vetor campo elétrico resultante discutido e publicado em artigo na revista SBEM em agosto de 2017 (MEGGIOLARO; ANDRADE NETO, 2017). Os dados produzidos partiram do uso do GeoGebra e de um conjunto de evidências produzidas nas entrevistas referente aos alunos - aluna 1, aluno 2, aluna 3 e aluno 4.

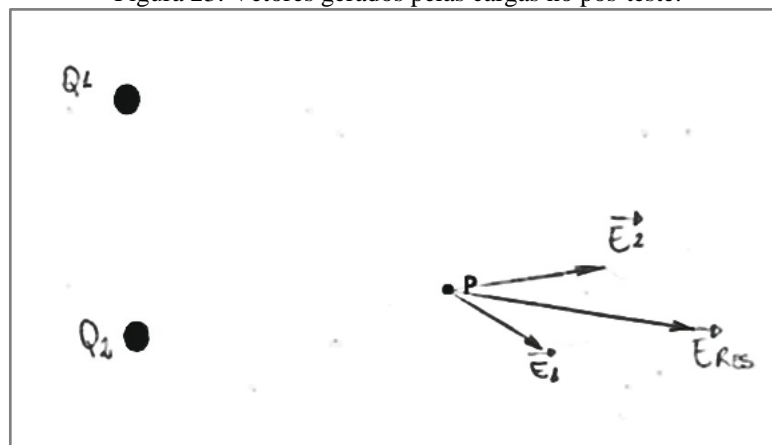
Verificamos nas entrevistas que os quatro alunos evidenciaram representações mentais ligadas diretamente ao professor e as aulas, ou seja, oriundos da interação social e cultural que os estudantes tiveram com os seus respectivos professores em sala de aula. Demonstrações essas, a partir das análises gestuais dos discursos dos alunos no pré e pós-teste, no que se referem à origem dos *drivers* utilizados para resolver as situações-problema de vetores, gerados a partir das cargas estacionárias criadas.

O aluno 2, no seu pré-teste, não respondeu nenhuma situação-problema, apontando que lembrava dos conceitos, porém não conseguia pensar como se comportariam os vetores do

campo elétrico no ponto P determinado pela situação-problema: “*Eu não consegui me lembrar porque fazia tempo que eu tinha feito esta cadeira*”; “*eu lembrava muito do meu caderno, eu lembrava bem, dos desenhos que tinha no caderno*”. Com isso, verificamos na sua fala de indícios de mediação cultural, por lembrar dos conceitos da carga positiva e negativa e indícios de mediação social devido à construção dos conceitos no caderno realizada pelo professor no quadro.

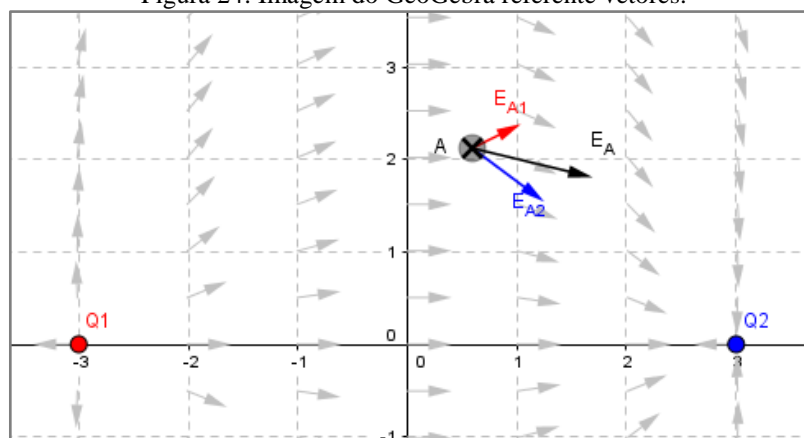
Por conseguinte, no pós-teste, o aluno 2 (Figura 23) representou os vetores e descreveu o que imaginou: “[...] *bom aí veio em mente a imagem do programa que a gente usou em relação às posições das cargas e a indicação do sentido do campo, isso eu lembrei bem, muito referente ao programa [...]*” percebemos indicativos, nesta fala, da mediação hipercultural devido às imagens do GeoGebra, conforme figura 24.

Figura 23: Vetores gerados pelas cargas no pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

Figura 24: Imagem do GeoGebra referente vetores.



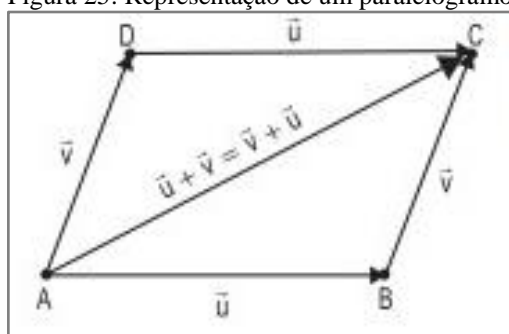
Fonte: Imagem extraída da simulação.

Para esboçar o vetor campo elétrico resultante, o aluno 2 detalha que traçou da seguinte maneira: “*Eu fiz como se fosse um paralelogramo, eu fiz assim*” (Figura 25) referindo-se a uma

simulação mental através da utilização das novas imagens adquiridas com GeoGebra, no qual a mediação social e cultural passaram a ser *drivers* hiperculturais relacionados com a interação do programa.

Este aluno retrata a lei do paralelogramo (Figura 25) cuja regra é “A diagonal do paralelogramo construído sobre as imagens geométricas de  $\vec{u}$  e  $\vec{v}$  representa a soma  $\vec{u} + \vec{v}$ . Sabe-se que o paralelogramo apresenta duas diagonais distintas, sendo construído sobre a mesma origem (VENTURI, 2015)”.

Figura 25: Representação de um paralelogramo.



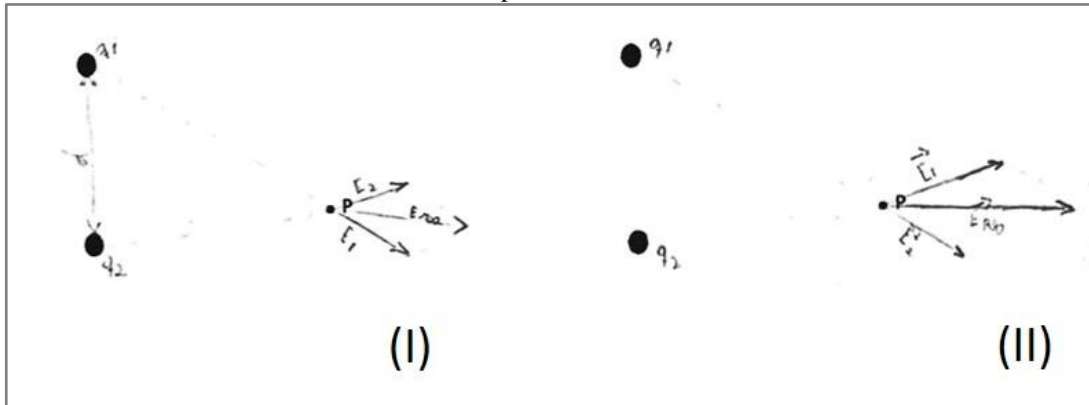
Fonte: VENTURI, 2015, p. 71.

O aluno 2 também descreve que, depois da utilização do GeoGebra, passou a lembrar das aulas de: “[...] geometria analítica e álgebra linear; [...] Vinha a imagem do quadro; [...] Eu acho que é uma maneira de enxergar, acontecer; [...] visto em pedaços, em diversas cadeiras, várias coisas diferentes, daí tu consegue unir, acho que aí foi o momento” mediações sociais e culturais, enfatizando aqui a relação observada pelo aluno sobre as duas áreas do conhecimento, interligadas entre a Física e a Matemática, porém com a mesma discussão do conceito de vetores.

O aluno 4, também evidenciou mediações sociais devido às aulas do professor no momento que traçou os vetores no pré e pós-teste, explicando que: “[...] eu aprendi na matemática que, é, como tu tem dois vetores com apenas com ângulo entre eles, neh, sem um sistema de coordenadas, vale a lei...dos cossenos”, em seguida ele se corrige e diz, que é da aula de física por meio de decomposição de vetores e não de matemática: “era decomposição de vetores em dinâmica, [...] Física mecânica, [...] É, só que daí física vetorial, se aplica a vários campos da física, matemática vetorial, [...]”. Suas representações sobre os vetores foram evidenciadas corretamente, conforme figuras 26I e 26II.



Figura 26: (I) Aluno 4: Terceira situação-problema do pré-teste; (II) Aluno 4: Terceira situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

Quando o aluno 4 foi questionado sobre o vetor resultante, ele relata a lei dos cossenos, que é a mesma da lei do paralelogramo: “[...] eu tracei no meio justamente pelos vetores, eles tinham aproximadamente o mesmo tamanho, não necessariamente está no meio, está um pouco abaixo, ele segue a questão de ângulos da seta, da soma de.. da lei dos cossenos” ou seja, a mediação cultural, relacionado aos exercícios, descrevendo que existe toda a questão vetorial envolvida, existindo um ângulo entre eles. Além da fala ele representa com as mãos, o movimento dos vetores, (Figura 27).

Figura 27: Aluno 4: Gestos #VR: Vetor Resultante.



Fonte: A pesquisa.

#VR: Vetor Resultante: movimento das mãos, representando que existem dois vetores em direções e sentidos diferentes, e que a soma desses dois vetores dá outro vetor, ou seja, um vetor resultante.

O aluno 4, evidencia que o GeoGebra facilitou a visualização dos módulos dos vetores no pós-teste, sendo este um indício de mediação hipercultural: “Tudo foi no programa apresentado, [...], quando eu coloquei que as cargas eram muito grandes, eu não conseguia ver os vetores acontecendo, aí depois quando a gente ajustou no programa lá os valores das cargas eu pude ver [...]”. E semelhante ao aluno 2, ele também delineia que o *software* traz uma riqueza muito maior em relação à visualização e movimentação dos vetores e campo elétrico.

A aluna 1 também aponta igualmente aos colegas na entrevista a mediação social fazendo referência à aula de eletromagnetismo<sup>16</sup> e em relação aos conceitos de campo elétrico: “Da aula mesmo do professor fazendo no quadro” e da aula de geometria analítica sobre o vetor resultante: “Aula de cálculo, de geometria analítica”. A mediação cultural pelos conceitos de campo representado no quadro negro “fazendo no quadro”.

Quando questionada sobre como encontrou os vetores  $E_1$  e  $E_2$ , a aluna 1 justifica que: “Não fiz nenhuma cálculo, só sabia que ele tinha que tá entre os dois, porque um puxava para um lado e o outro para o outro e ele tinha que da um médio”, ou seja, “Pelo vetor mesmo, vetor resultante dos outros dois” ela sinaliza com as mãos os movimentos (Figura 28). Acreditamos que aqui existe indícios da aula de geometria analítica, mediação social.

Figura 28: Aluna 1: Gestos #VR: Vetor Resultante.



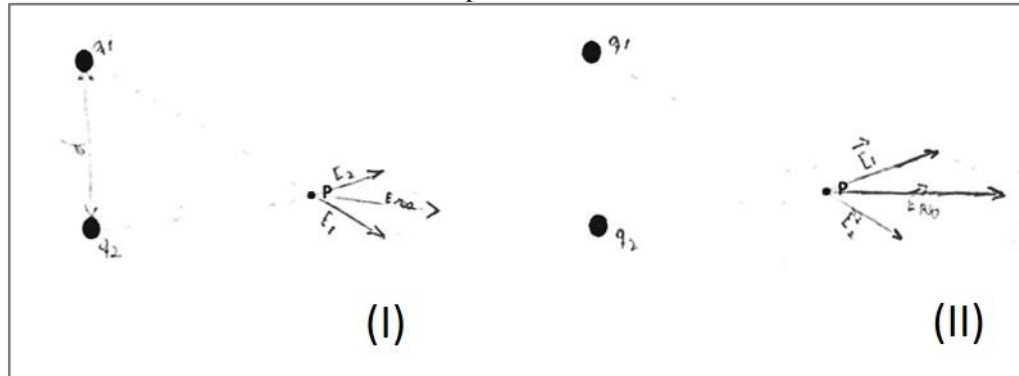
Fonte: A pesquisa.

#VR: Vetor Resultante: movimento das mãos, representando que existe dois vetores em direções e sentidos diferentes e que a soma destes dois vetores dá outro vetor, ou seja, um vetor resultante.

A aluna possivelmente estava se referindo a lei do paralelogramo (Figura 25) por ter lembrado das aulas de matemática e do professor. Porém, as representações dos vetores do campo elétrico estão incorretas, conforme o pré-teste (Figura 29I), uma vez que a representação de campo elétrico de cargas de mesmo sinal é diferente da representação do campo elétrico de cargas iguais. Mas no seu pós-teste, ela representou corretamente os vetores campo elétrico produzidos pelas cargas negativas (Figura 29II), afirmando que: “Eu lembrei do GeoGebra, desenho do campo”. Ao responder o pós-teste, a aluna 1 se valia de imagens mentais adquiridas por intermédio da interação com a simulação, o que fica visível quando passa a utilizar representações hiperculturais, e modifica as imagens que inicialmente utilizava para *drivers* culturais.

<sup>16</sup> Os alunos A1, A2, A3 e A4, já haviam cursado a disciplina de Eletromagnetismo.

Figura 29: (I) Aluna 1: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 1: Primeira situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

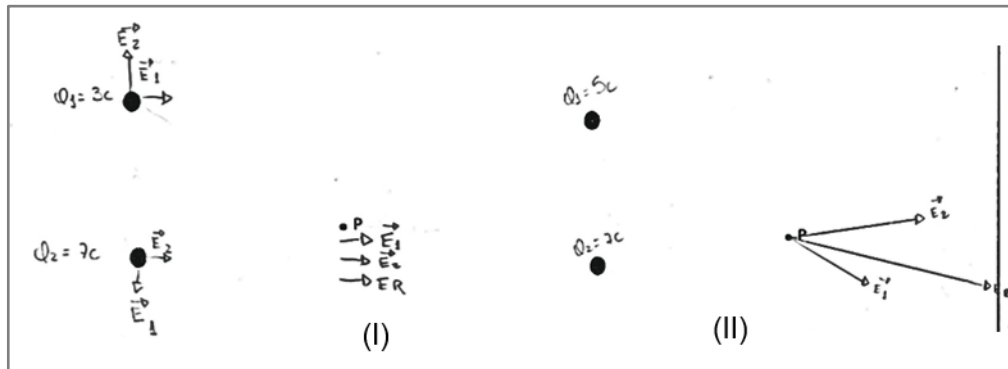
E a aluna 1 também apontou que lembrou da aula do professor para traçar as linhas de campo: “*Da aula mesmo do professor fazendo no quadro*”, sendo uma mediação social em relação ao professor e uma mediação cultural em que o professor estava fazendo no quadro, devido à interação com conceito, fazendo referência a aula de eletromagnetismo.

Outro indício de utilização de mediação social apontado é quando ela se refere à aula de geometria analítica: “*Aula de cálculo, de geometria analítica*”, ela descreve que: “*Não fiz nenhuma cálculo, só sabia que ele tinha que tá entre os dois, porque um puxava para um lado e o outro para o outro e ele tinha que dá um médio*”, possivelmente a aluna estava se referindo a lei do paralelogramo (Figura 25), trabalhada na aula quando estudado conceitos de vetores.

A aluna 3 apresenta indícios de mudanças de mediações hipercultural para social quando ela diz que, depois de utilizar o GeoGebra, fez associação, lembrou da aula de eletromagnetismo: “*Da associação da aula, porque são exercícios semelhantes; [...] Eletro... Eletromagnetismo*”. Possivelmente a aluna estava lembrando de exercícios semelhantes aos trabalhados pelos autores HALLIDAY, RESNICK e WALKER (2010) material este utilizado no Ensino Superior de todo o país.

Essa aluna, durante a produção dos dados no pré-teste, na representação dos vetores no ponto P, não realizou corretamente os vetores de campo elétrico (Figura 30I), porém, após a atividade desenvolvida no GeoGebra, percebemos uma alteração nos vetores gerados pelas cargas, principalmente no vetor campo elétrico resultante (Figura 30II), ou seja indícios da mediação hipercultural.

Figura 30: (I) Aluna 3: Terceira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 3: Terceira situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

As imagens mentais obtidas pela mediação do mecanismo extracerebral da simulação no GeoGebra possibilitou que a aluna 3 representasse corretamente os vetores campo elétrico: “Eu me baseie no aplicativo, que a gente fez, como era positivo, é repulsão, então só ali uma relação, comparação de tamanhos dada uma carga menor que é a carga dois, eu quis diferenciar ali” (Figura 31). Ela se utiliza representações hiperculturais adquiridas na simulação para traçar os vetores, principalmente o vetor resultante, possivelmente trazendo a imagem da figura 18 na sua mente sobre o GeoGebra.

Figura 31: Aluna 3: Gestos #RV: Representação do Vetor.



Fonte: A pesquisa.

#RV: Representação do Vetor: a partir da atribuição de valores para as cargas, o vetor possui um sentido, ou direção.

Ao comparar com o pré-teste, não foi identificada a utilização de imagens relacionadas com os vetores do campo elétrico gerados a partir das cargas, conclui-se que há indícios que ela adquiriu os *drivers* dos vetores relacionados com a simulação. E, para descrever como encontrou o vetor campo elétrico resultante, a aluna 3 refere-se a equação do campo elétrico: “É  $F/Q$ , Campo elétrico” equação essa  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$  que utilizamos para de fato verificarmos a intensidade do campo elétrico em um determinado ponto do espaço. A aluna, ao mencionar essa equação, evidencia os *drivers* culturais.

Dentre os mecanismos externos de mediação psicofísico, social, cultura e hipercultural discutidos na TMC, ficou evidenciado na análise das entrevistas, que os alunos 1, aluno 2, aluna 3 e aluno 4 possuíam fortemente indícios da mediação social e cultural. As mediações estão relacionadas com a interação entre o professor e as aulas do ensino superior, reforçando a importância do professor no planejamento das suas aulas e a forma como aborda os conceitos em sala de aula, visto que será ele que ajudará o aluno a construir o seu conhecimento.

## 6.2 EXPERIMENTO DEFINITIVO

A análise apresentada refere-se ao experimento definitivo, sendo que por intermédio das análises desse grupo de alunos, pretendemos responder nosso problema de pesquisa e alcançar os objetivos.

Para a análise das entrevistas deste grupo, exploramos o entrelaçamento das situações-problema com as mediações no domínio do campo conceitual da eletrostática. Para Vergnaud (1993), toda situação complexa pode ser analisada com uma combinação de tarefas, onde os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com as quais é confrontado. A situação-problema abordada na análise é a primeira, depois da resposta na entrevista o aluno segue a mesma linha de raciocínio para responder às demais. Baseado no triplete  $C=(S,I,R)$ , a situação-problema é:

*No quadro a seguir, encontramos distribuídas duas cargas positivas. Estas cargas, separadas por uma distância  $d$ , criam um campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$ . Dessa forma, represente no ponto  $P$  o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$  (criado pela carga  $Q_1$ ),  $\vec{E}_2$  (criado pela carga  $Q_2$ ) e  $\vec{E}_{Res}$  o campo elétrico resultante, criado por ambas as cargas. Inicie atribuindo valores a elas.*

Para dominar a situação-problema, é preciso representar simbolicamente o campo elétrico, sendo necessário que o aluno faça referência, primeiramente, a carga elétrica, depois ao campo elétrico e, por fim, a um ponto no espaço, onde o estudo dos Invariantes Operatórios estão associados: a carga elétrica, linhas de campo elétrico, vetor campo elétrico, campo elétrico relacionado a distância, vetor campo elétrico resultante e força elétrica, irão permitir identificar e compreender o campo conceitual da eletrostática.

Como conjunto de Representações Simbólicas, temos o diagrama de setas como de linhas de campo elétrico (intensidade, direção e sentido) e as equações do campo elétrico e campo elétrico resultante.

Efetivamente estamos identificando os teoremas-em-ação e conceitos-em-ação dos cinco alunos, apenas para a categoria de carga elétrica por se tratar do conceito inicial da eletrostática e vetor campo elétrico resultante, por ser a pergunta essencial das situações-problema.

### **6.2.1 Carga elétrica**

Carga elétrica é uma propriedade associada à própria existência das partículas, podendo ser positiva ou negativa. Um corpo estará eletricamente neutro, quando possuir igualmente os dois tipos de cargas, e, eletricamente carregado, quando apresentar excesso de cargas positivas ou negativas (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2010).

#### Universal abstrato

- O uso articulado da mediação psicofísica, cultural, social e hipercultural são importantes no estudo da carga elétrica. Contudo, as representações advindas da mediação psicofísica são frutos de analogias com objetos se movendo rapidamente no mundo macroscópico. Todos os relatos utilizam pelo menos duas mediações combinadas.

#### Universal Concreto

- As alunas 6, 8 e 9 adquiriram suas representações de carga via mediação psicofísica. Essas alunas utilizam imagens mentais de objetos que se movem, tais como um caminhão, um bichinho e cargas imaginadas em um experimento. As representações dos alunos 5, 6, 7, 8 e 9 advêm das mediações sociais e culturais relacionadas à aula, ao

conteúdo e ao livro. Para os alunos 5 e 6, a concepção de carga também provém da mediação hipercultural agregada a vídeos no YouTube e à simulação computacional.

### Evidências

Apontaremos os alunos separadamente, uma vez que, cada um evidenciou um ou mais mecanismo externo de mediação para o mesmo conceito discutido.

➔ O aluno 5, cita sobre as cargas serem positivas ou negativas:

**Aluno 5:** Carga, eu penso, um elétron ou uma carga que tem uma... Um positivo e negativo, tem sentido de... Carga, para mim, é... Pode ser assim. Carga, para mim, são três tipos: a positiva, a negativa e a nula, não é? Daí porque eu sei que a positiva doa (Figura 32I) e que a negativa recebe (Figura 32II); a nula é quando tem o mesmo nível, mesmo número de cátions e íons.

Figura 32: Aluno 5: (I) Gesto #CEP: Carga Elétrica Positiva; (II) Gesto #CEN: Carga Elétrica Negativa.



Fonte: A pesquisa.

(I)#CEP: Carga Elétrica Positiva: demonstra, mediante o movimento dos dedos, que as linhas de campo são direcionadas para fora e que se repelem.

(II) #CEN: Carga Elétrica Negativa: demonstra, mediante o movimento dos dedos para dentro, que cargas negativas se atraem.

Quando questionado sobre este conceito de carga ser positiva, negativa ou nula, o aluno refere-se: “*da aula de química, mas daí, eu usei um pouco o conhecimento de química para fazer isso daqui, aqui*”. Neste fragmento, percebemos que o conceito sobre carga foi estabelecido pela aula de química, possivelmente sendo uma mediação social devido a essa interação e indícios da mediação hipercultural pelo estudo em vídeos “*Ah é que também olho vídeos, então já olhei bastante vídeo de bomba atômica, de bombas assim*”, no YouTube.

Ao utilizar exclusivamente o discurso verbal do aluno 5, podemos enunciar seu teorema-ção para carga como sendo “cargas podem ser positivas, negativas ou nulas, a positiva doa e a negativa recebe, e a nula tem o mesmo número de cátions e íons”. Isso evoca no leitor a imagem de que o estudante associa predominantemente carga à conceitos de química.

Contudo, ao incluir a análise gestual, considerando o discurso verbo-gestual completo (tal como descrito em um artigo recentemente aceito para publicação de TREVISAN et al.,

2019), percebe-se que o aluno utiliza gestos que indicam imagens<sup>17</sup> de linhas de campo em torno de uma carga. Considerando o discurso verbo-gestual poderia ser enunciado como “Cargas podem ser positivas – cujas linhas de campo se dirigem para fora da carga – podem ser negativas – com linhas de campo que se dirigem para dentro da carga – ou nulas, com mesmo número iônico.”.

O conceito-em-ação de carga está, naturalmente portanto, relacionada à um ponto com linhas de campo e considerações de conceitos de química.

➔ Carga elétrica para a aluna 6 é como um pontinho (Figura 33I): “*ele é redondinho, pequenininho, redondinho*”. Ela realiza gestos que refere-se a imagem mental representando algo pequeno. Em seguida, fez associação com a carga de um caminhão:

**Aluna 6:** por exemplo, qual a carga de um caminhão?” (Figura 34II); “é o peso do caminhão! A carga que o caminhão transporta, o peso, é um valor que ele tem atribuído. Uma carga, uma partícula, é o pesinho pequenininho que ela tem” (Figura 33III).

Por meio de gestos que refere-se a imagem mental de um deslocamento do caminhão em cima da mesa. Essa comparação da carga elétrica com um caminhão aponta indícios da mediação psicofísica. A aluna 6 fez referência ao cotidiano dela ou ao senso comum para relacionar a carga elétrica ao peso, ou seja, a carga elétrica é uma propriedade da partícula e o peso está relacionado com a capacidade de transporte de carga do caminhão. Essa situação reflete a mesma descrita por Furió, Guisasola e Almudí (2004), onde os alunos utilizam o senso comum, no qual as explicações possuem falta de consistências e interpretações científicas para descrever os fenômenos relacionados a eletrostática.

Figura 33: Aluna 6: (I) Gesto #CP: Carga e o Ponto; (II) Gesto #CD: Caminhão se deslocando; (III) Gesto #P: Peso.



Fonte: A pesquisa.

- (I) #CP: Carga e o Ponto: com a mão fechada, os dedos aproximados, a aluna representa a carga pequena;
- (II) #CD: Caminhão se deslocando: representa o movimento de um caminhão se deslocando;
- (III) #P: Peso: com as mãos, representa que a carga possui um valor, semelhante ao peso de um objeto.

<sup>17</sup> Como os que serão analisados mais adiante, no Capítulo 6, seção 6.2.2. Linhas de campo.



A aluna 6 menciona sobre a situação-problema do pré-teste, dizendo que, quando solicitada a atribuir um valor para a carga, pensou em apenas colocar valores aleatórios que variassem de zero a 10: “*eu só lembrava que a unidade era C*”, unidade fundamental determinada pelo Sistema Internacional de Medidas – S.I, sendo C - Coulomb. Ela alega que não havia parado para pensar sobre a quantidade da carga: “*eu não tinha parado para pensar, na verdade*”. Porém, após a realização da simulação computacional, (mediação hipercultural), diz: “*eu parei para pensar*”, constatando “*que a carga era algo muito pequeno, então, ela é uma carga nanômetro*” (Figura 34). A aluna 6, com os dedos juntos, representa que a carga é pequena, utilizando a grandeza nano.

Figura 34: Aluna 6: Gesto #CP: Carga e ponto.



Fonte: A pesquisa.

#CP: Carga e o ponto: com a mão fechada e os dedos aproximados, a aluna representa a carga pequena.

Consideramos que, após a simulação computacional, a aluna 6 recordou a quantidade da carga elétrica, visto que, quando questionada sobre o que se embasou para pensar na carga ser pequena, respondeu: “*nos conteúdo da aula [...] Da aula de Física, [...] na aula, quando explica, quando é passado o conteúdo, depois a gente vai fazer os exercícios*”. Esses são indícios da mediação cultural por tratar-se de conteúdos da aula e de mediação social por haver relação com a aula de Física.

O conceito-em-ação da aluna 6, já considerando-se o seu discurso verbal e gestual combinados, refere-se que carga tem um número associado à massa, tal qual objetos macroscópicos apresentam, e que é movimentada no espaço. Carga, para ela é efetivamente um caminhão que transporta uma massa (embora minúscula).

O teorema-em-ação referente ao comportamento da carga elétrica é que “cargas são transportadas tal qual, massas são transportadas por uma distância”.

➡ O aluno 7 descreve que uma carga elétrica pode ter “*excesso de elétrons ou falta de elétrons*” e que, “*se as duas têm falta ou excesso, elas não vão interagir; contrário se fosse uma carga positiva ou negativa. Uma tem, a outra não tem*”. “*Qualquer coisa tem carga*”, e “*é como a propriedade, tem um material ou uma partícula, [...] de cada um*”. Durante a entrevista, quando questionado sobre onde encontramos cargas elétricas, ele diz:

**Aluno 7:** Ah, tipo, um bastão assim, vamos dizer que tem bastante nos livros...

**Pesquisadora:** Ótimo. Tu te lembras de algum livro em que tenha visto isso?

**Aluno 7:** É, eu lembro uma foto, meio por cima, uma coisinha (Figura 35I) com uma bolinha (Figura 36II) , assim, cheio de carguinha (Figura 35III e 35IV) , assim.

**Pesquisadora:** Ótimo. Tu lembras que livro é esse? Em que livro tu viu essa imagem?

**Aluno 7:** Do livro, eu não me lembro.

**Pesquisadora:** Sim, mas tu estudou isso quando? Agora, ou quando fazia Física no ensino médio?

**Aluno 7:** No ensino médio.

**Pesquisadora:** Ensino médio, a fotinho do bastão com..?

**Aluno 7:** Isso, com uma bolinha assim (Figura 36).

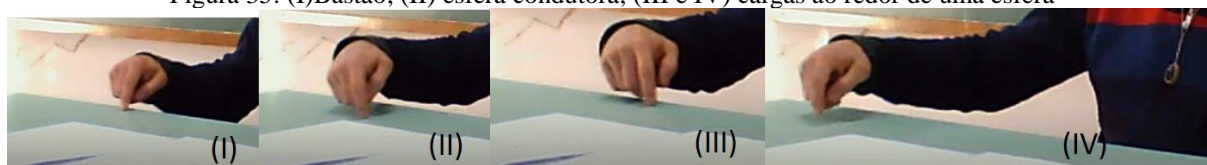
**Pesquisadora:** Do livro, tu não te lembra?

**Aluno 7:** Parecia um ovo, assim...

**Pesquisadora:** Sim, com os sinaizinhos.

**Aluno 7:** Amarelo.

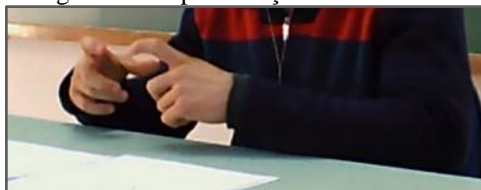
Figura 35: (I) Bastão; (II) esfera condutora; (III e IV) cargas ao redor de uma esfera



Fonte: A pesquisa.

#BC: Bastão com cargas: representa com o dedo o bastão, com uma esfera e ao seu redor cheio de cargas.

Figura 36: Representação de uma esfera

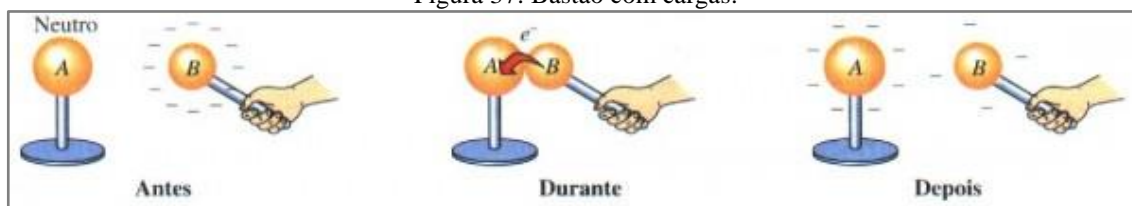


Fonte: A pesquisa.

#E: Esfera: indica com o movimento do dedo uma esfera condutora conectada a um bastão.

Provavelmente, a imagem mental que o aluno 7 descreve é semelhante à da figura 37, com o bastão, e, na extremidade, uma bolinha com cargas ao seu redor – representação clássica nos livros de Física, referente os processos de eletrização por contato ou por indução. Observamos que o estudante utilizou imagens mentais culturais, como o livro, para explicar a carga elétrica. E mediação Social, referindo a Física do Ensino Médio.

Figura 37: Bastão com cargas.



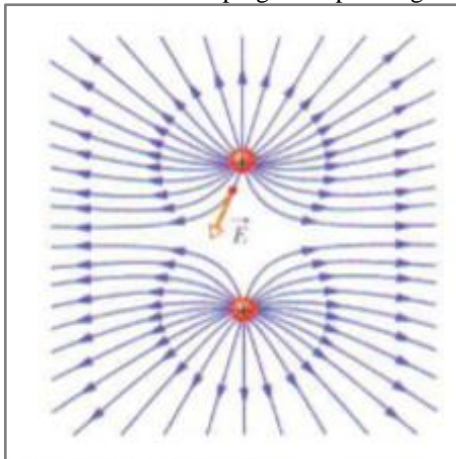
Fonte: SILVA. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/eletrostatica/eletrizacao/>>

Medeiros e Medeiros (2002), apontaram que os alunos possuem dificuldades em compreender as representações visuais que os livros abordam, por mais que os livros apresentem situações iniciais e finais de um processo por uma série de gravuras em diferentes instantes de tempo. Porém o aluno 7, conseguiu contextualizar a atividade experimental descrita no material didático e a utilizou como um mecanismo externo para a explicação, mesmo após ter realizado a simulação computacional no GeoGebra.

O conceito-em-ação do aluno 7 para carga é que as cargas são o que provocam a eletrização por meio de eletricidade estática, visualmente associando a minúsculos sinais de carga em volta de objetos macroscópicos, tal como expostos em livros didáticos no conteúdo de eletricidade estática.

Já seus teoremas-em-ação poderiam ser enunciados como “cargas iguais não interagem (contextualmente visto na sua entrevista referindo-se a linhas de campo elétrico que não se conectam) e cargas contrárias interagem (linhas de campo entre cargas contrárias), (Figura 38).

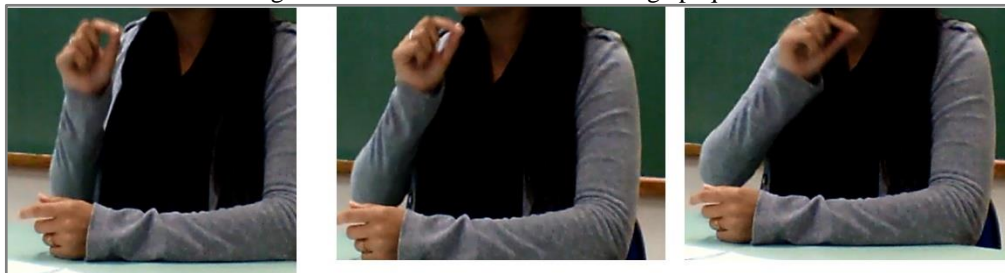
Figura 38: Linhas de campo gerado por cargas iguais.



Fonte: HALLIDAY; RESNICK e WALKER, 2010, p. 24.

➡ A aluna 8 apresenta gestos referindo-se a imagem mental semelhante aos da aluna 6 (Figura 39), demonstrando que a carga é pequena.

Figura 39: Aluna 8: Gesto #CPP: Carga pequena.

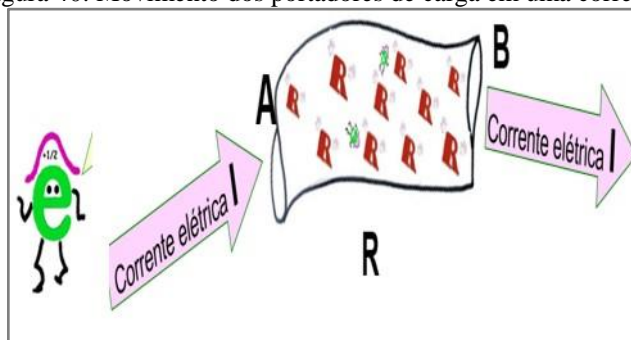


Fonte: A pesquisa.

#CPP: Carga pequena: Representação fechando a mão, juntando os dedos que a carga é algo pequeno e microscópico.

Mas para explicar sobre a carga, a aluna 8 relaciona com campo elétrico: “[...] carga pode ser um valor de um elétron, está num campo, lá”, “o que está dentro do campo”, imagina sendo “um bichinho, acho” – ela faz o movimento com a mão fechada como se estivesse pulando (Figura 39) a mediação psicofísica como foco de análise deste trabalho, uma vez que pela TMC esse conceito sobre o elétron foi construído culturalmente. Acreditamos que ela estava pensando na representação da figura 40, no dia em que a entrevista foi realizada, estávamos em uma aula sobre corrente elétrica e resistência, cujos *slides* apresentavam uma animação em que, os portadores de carga se movimentavam (mediação cultural).

Figura 40: Movimento dos portadores de carga em uma corrente.



Fonte: Resistência e Corrente.

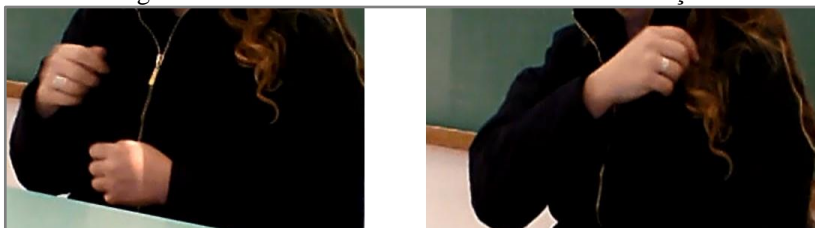
O conceito-em-ação da aluna 8 para carga elétrica é um “bichinho” ou um “portador de carga”, muito pequeno. Fortemente influenciada pelo contexto da aula, que imediatamente antecedeu o momento da entrevista (aula sobre corrente e resistência). Já seu teorema-em-ação é que, cargas produzem campos elétricos.

➡ A aluna 9 também faz referência a carga sendo minúscula e associa a atividade experimental desenvolvida em sala de aula “[...] eu acho que ela é muito minúscula, não é?”

*Então, quando tem aquele negócio da caneta” (Figura 41), “quando tu faz na caneta... É um negócio por causa das cargas, então, provavelmente, tem mais alguma coisa”.*

Na atividade relatada pela aluna, a professora levou um canudinho e pedaços de papel, onde friccionaram o canudo no cabelo, deixando esse objeto eletricamente carregado, assim exercendo uma força sobre os pedaços de papel. Acreditamos que a mediação é psicofísica para o foco de análise deste trabalho em relação à atividade, porém pela TMC essa experiencia foi construída culturalmente, e social, porque lembra a aula de Física C.

Figura 41: Aluna 9: Gesto #PE: Processo de Eletrização.



Fonte: A pesquisa.

#PE: Processo de eletrização: com a mão, a aluna simula que está aproximando a caneta do cabelo, carregando.

A respeito do depoimento da aluna 9, concordamos com Laburú, Silva e Zömpero (2015) onde é viável analisar as ações exteriorizadas pelos alunos em relação aos conceitos científicos, porém é preciso que o professor analise com outras representações, como as verbais.

O teorema-em-ação utilizado pela aluna 9, dentro da situação-problema relacionado a carga elétrica está associado as cargas estarem presentes no processo, enquanto seus conceitos-em-ação refere-se a carga e processo de eletrização.

### Considerações

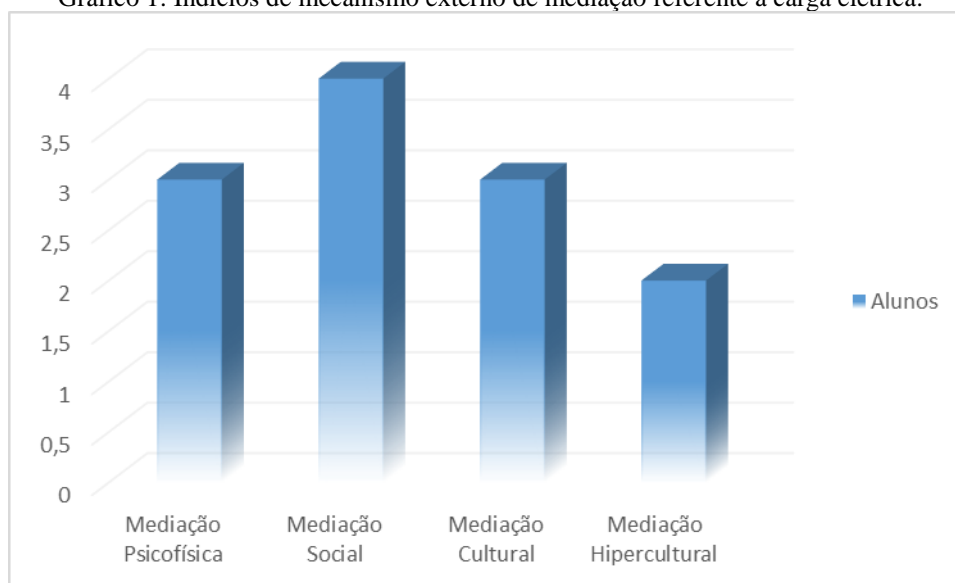
➔ Por meio das evidências levantadas com a discussão das imagens mentais e *drivers* individuais de cada aluno (Quadro 5), em relação ao conceito de carga elétrica, observamos que o mecanismo externo de mediação social (Gráfico 1) sobressaiu na análise do aluno 5, aluna 6, aluno 7 e aluna 9, em relação à explicação do conceito de carga elétrica dentro do campo conceitual da eletrostática, apontando que o conceito é formado em aula, pelas aulas.

Quadro 5: Índicios de mecanismo externo de mediação referente à carga elétrica.

Situação-problema	Mecanismo externo de mediação Aluno 5	Mecanismo externo de mediação Aluna 6	Mecanismo externo de mediação Aluno 7	Mecanismo externo de mediação Aluna 8	Mecanismo externo de mediação Aluna 9
Carga elétrica	Social e hipercultural	Psicofísica, social, cultural e hipercultural	Social e cultural	Psicofísica e cultural	Psicofísica e social

Fonte: A pesquisa.

Gráfico 1: Índicios de mecanismo externo de mediação referente à carga elétrica.



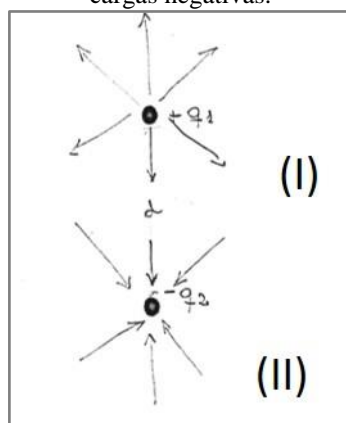
Fonte: A pesquisa.

Por fim, é interessante observar que os índices levantados dos cinco alunos em relação ao conceito de carga elétrica estão relacionados à apropriação de diferentes mecanismos externos para aplicar na situação-problema solicitada, uma vez que cada aluno/indivíduo internaliza este conceito de acordo com seus interesses.

### 6.2.2 Linhas de campo elétrico

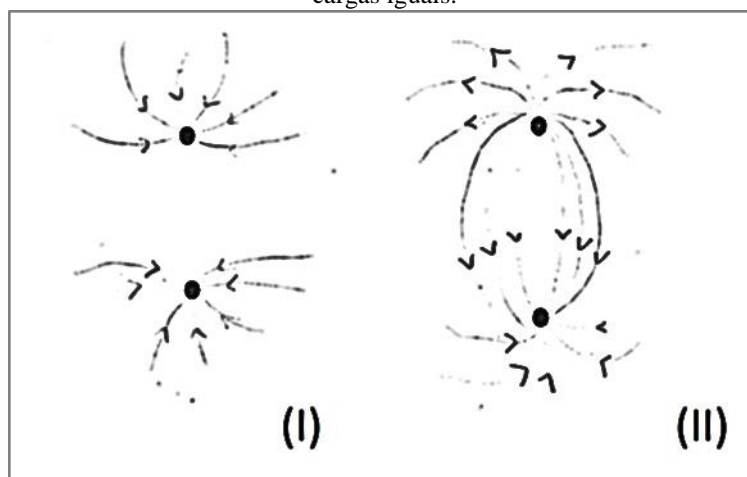
A análise deste conceito está associado a orientação das linhas de campo elétrico, em que se afastam quando as cargas são positivas e se aproximam das cargas negativas (Figura 42I e 42II). Quando as cargas são pontuais iguais, elas se repelem (Figura 43I), e diferentes cargas pontuais se atraem (Figura 43II) (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2010). Partindo desse conceito, as linhas são uma boa maneira de visualizar os campos elétricos.

Figura 42: Aluno 7: (I) Linhas se afastam quando as cargas são positivas; Aluno 7: (II) Linhas se aproximam das cargas negativas.



Fonte: A pesquisa.

Figura 43: Aluna 9: (I) Linhas de campo gerado por cargas diferentes; Aluna 9: (II) Linhas de campo gerado por cargas iguais.



Fonte: A pesquisa.

### Universal abstrato

- A aprendizagem das linhas de campo elétrico sobressai pela influência das mediações sociais e culturais. Todavia, em dois alunos, a mediação hipercultural modificou a imagem mental.

### Universal concreto

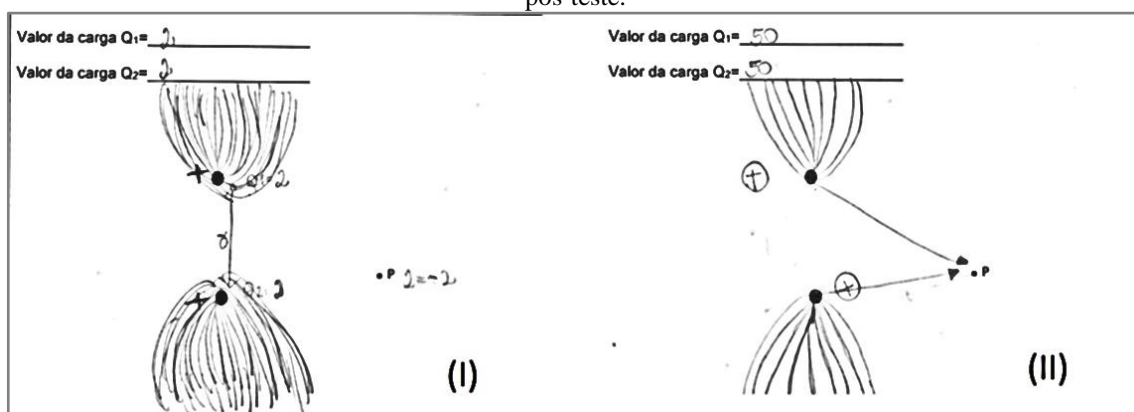
- Os alunos 5, 7, 8 e 9 apontam indícios de que a mediação social e cultural advinda da interação com o professor e materiais em sala de aula possibilitam o entendimento sobre

as linhas de campo elétrico. Os alunos 7 e 8 modificaram as representações após interação com a simulação GeoGebra, mediação hipercultural.

### Evidências

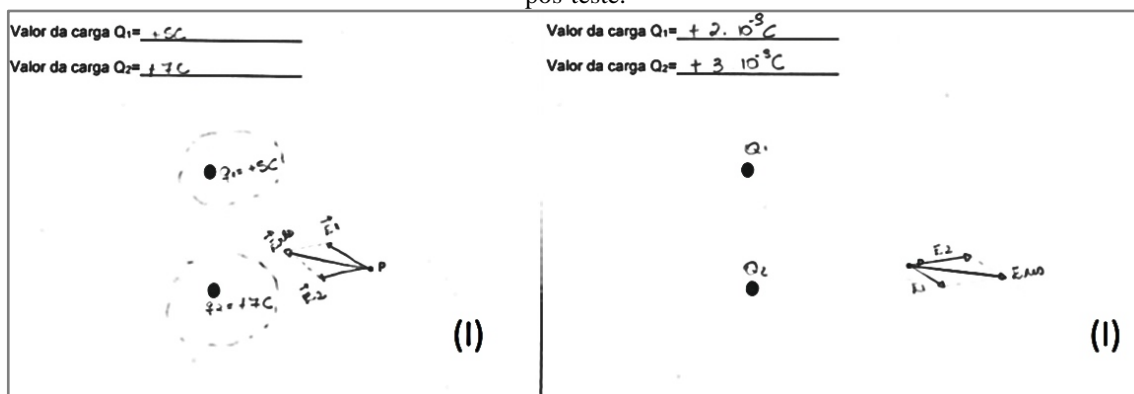
➔ Para melhor compreender os indícios de modificação e/ou construção nas imagens mentais e *drivers* a respeito da discussão da linha de campo elétrico, em relação a orientação e intensidade dos campos elétricos. Apontamos abaixo, a representação dos cinco alunos da primeira situação-problema do pré e pós-teste.

Figura 44: (I) Aluno 5: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluno 5: Primeira situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

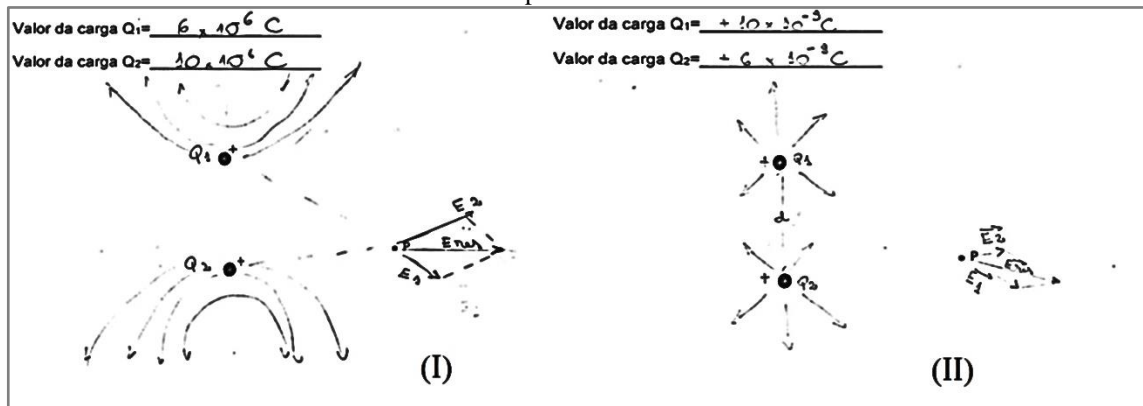
Figura 45: (I) Aluna 6: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 6: Primeira situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

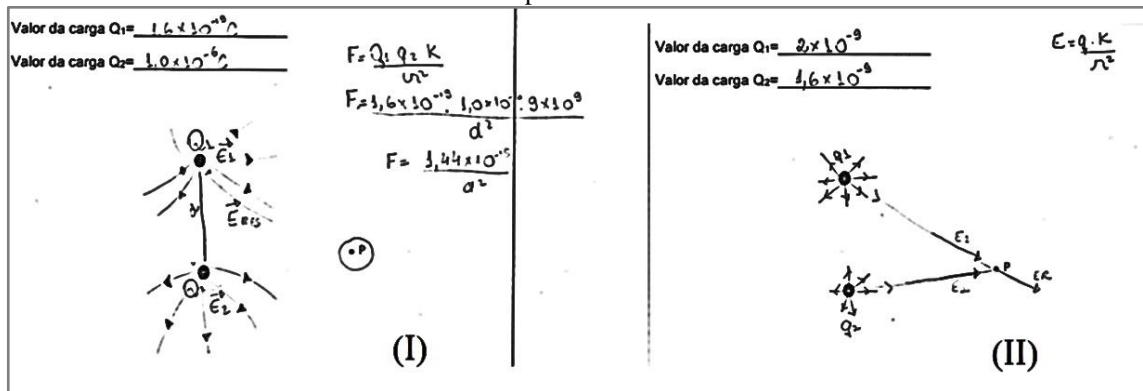


Figura 46: (I) Aluno 7: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluno 7: Primeira situação-problema do pós-teste.



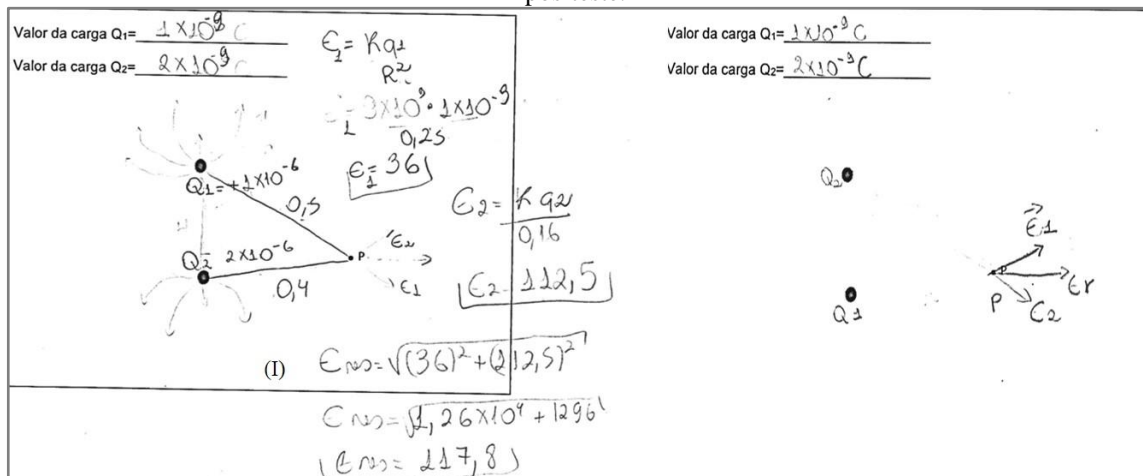
Fonte: A pesquisa.

Figura 47: (I) Aluna 8: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 8: Primeira situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

Figura 48: (I) Aluna 9: Primeira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 9: Primeira situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

➡ Em relação aos *drivers* referente às linhas de campo elétrico, o aluno 5 não apresentou indícios de modificações, em razão de representar tanto no pré-teste como no pós-teste as linhas de campo em forma circular (Figura 44I e 44II). Ou seja, entende-se que o mecanismo externo de processamento de informações interagiu com o aluno, e que este não criou *drivers*

específicos de representação das linhas de campo, onde não permaneceram mesmo após a mediação com a simulação computacional no GeoGebra. Na entrevista, questionamos sobre as concepções das linhas de campo:

**Aluno 5:** [...] a linha de campo da aula de agora.

**Pesquisadora:** Da onde, quando?

**Aluno 5:** Da aula de Física que a gente fez antes do GeoGebra, ou durante o GeoGebra, agora eu não lembro.

**Pesquisadora:** Da disciplina de Física?

**Aluno 5:** Da disciplina de Física, e das linhas de campo, eu sabia isso. Eu sabia que duas cargas iguais se repeliam, tanto positiva quanto negativa.

[...]

**Aluno 5:** Ah, eu acho... Eu não lembro se era bem essa imagem, mas era próximo, bem parecido com as apostilas que a senhora deu para nós, que tinha que realizar a atividade na aula, com questões bem parecidas, com os mesmos pronunciados, praticamente.

Percebemos, em sua resposta, indícios de mediação social em relação à disciplina de Física e de mediação cultural pelas apostilas com as atividades desenvolvidas em aula. Apesar de estar correta a explicação do aluno sobre o sentido das linhas de campo em relação à carga ser positiva e negativa, ele não mostra o sentido das setas no desenho do pré ou no pós-teste, ou seja, não representa se elas estão entrando ou saindo. O aluno 5, apenas faz a representação de que elas não se tocam devido a seus sinais serem iguais, logo, não ocorreu mudança nas imagens mentais.

Na descrição do sentido das linhas de força geradas pelas cargas, ele identificou que as cargas, quando positivas ou negativas, possuem sentido contrário uma da outra, não se encostando, como observado tanto antes da simulação quanto após a simulação no GeoGebra.

O aluno 5 relata: “[...] eu também informei o sentido das linhas de campo. Eu coloquei que esses dois, que essas duas cargas estavam positivas e que as linhas de campo delas estavam posicionadas para fora” (Figura 49). Ele representa a primeira situação-problema com gestos, referindo a imagem mental representando cargas positivas possuindo linhas para fora.

Figura 49: Aluno 5: Gesto #CEP: Carga Elétrica Positiva.



Fonte: A pesquisa.

#CEP: Carga Elétrica Positiva: demonstra com as mãos, indicando, mediante o movimento dos dedos, que as linhas de campo são direcionadas para fora e que se repelem.

Quando a carga é negativa, “[...] o sentido da linha de campo era de entrada” (Figura 50), “*entrando para as cargas, do ponto P para as cargas*”, referindo-se à segunda situação-problema.

Figura 50: Aluno 5: Gesto #CEN: Carga Elétrica Negativa.



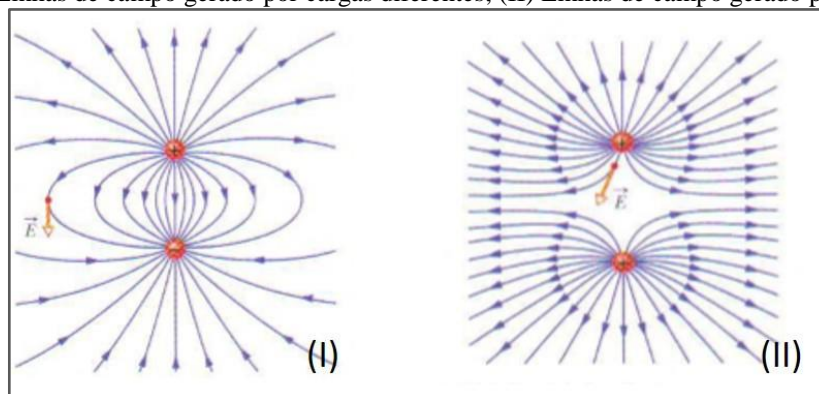
Fonte: A pesquisa.

#CEN: Carga Elétrica Negativa: demonstra com as mãos, indicando, mediante o movimento dos dedos para dentro, que cargas negativas se atraem.

➡ A aluna 6 não expressou nenhuma representação tanto no pré-teste como no pós-teste, apesar de ter desenhado ao redor da carga uma linha pontilhada, no qual ela refere-se ao campo elétrico e não às linha de campo. Ou seja, o mecanismo externo de mediação, não auxiliou o estudante com relação a correta definição das linhas de campo elétrico.

➡ O aluno 7 e a aluna 8 apresentaram indícios de alteração de imagens após a simulação, reproduziram as linhas de campo de forma circular (Figura 48I e 49I), passando depois a representá-las em todos os sentidos, de forma linear (Figura 48II e 49II). Possivelmente, a imagem que esses alunos representam no pré-teste é similar à da figura 52, trabalhada no quadro e na apostila em sala de aula - mediação social e cultural.

Figura 51: (I) Linhas de campo gerado por cargas diferentes; (II) Linhas de campo gerado por cargas iguais.



Fonte: HALLIDAY; RESNICK e WALKER, 2010, p. 24.

Acreditamos que os *drivers* modificados por esses dois alunos são oriundos da interação com a simulação – Mediação hipercultural, semelhante à figura 52. Vale ressaltar que a simulação computacional não mostra as linhas de campo elétrico, apenas o vetor campo elétrico. De acordo com Souza (2004) isso ocorre por intermédio de uma evolução na forma da mediação cognitiva, uma vez que, primeiramente o aluno 7 e aluna 8 demonstraram ter *drivers* de origem social e cultural, no qual este evoluiu para um *driver* que possui uma forma mais complexa de mediação que é a hipercultural.

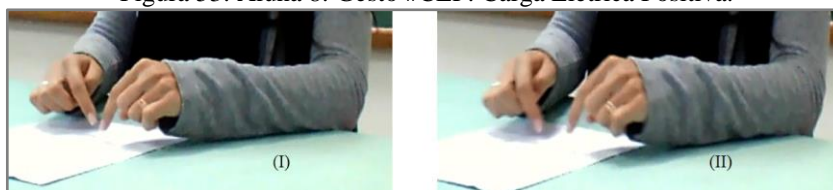
Figura 52: Simulação computacional no GeoGebra.



Fonte: A pesquisa.

➡ A aluna 8 na entrevista, explica que no pré-teste através de gestos, referindo-se a imagem mental do movimento das linhas de campo saindo das cargas quando positivas (Figura 53). Essa estudante, após a simulação computacional no GeoGebra, representou as linhas de campo saindo da carga, porém, não tão arredondadas.

Figura 53: Aluna 8: Gesto #CEP: Carga Elétrica Positiva.



Fonte: A pesquisa.

#CEP: Carga Elétrica Positiva: demonstra com as mãos, indicando pelo movimento dos dedos que as linhas de campo são direcionadas para fora e que se repelem.

➔ A aluna 9 representa as linhas de campo geradas pelas cargas (Figura 48I), só no pré-teste, de forma arredondada, e, depois da simulação, não representa mais as linhas. As linhas de campo que a aluna desenhou no pré-teste são oriundas das aulas de Física C, mediação social, ela relata: “no primeiro momento, a gente não tinha no que olhar, eram... Não tinha o GeoGebra, tudo no caderno que a gente tinha, que passou na aula de campo elétrico, de Física C”.

A aluna 9 diz: “eu pensei logo nas flechinhas, sabe... [...] O sentido delas, sabe, tipo assim, se era uma carga... Se eram duas cargas negativas, elas se repeliam” (Figura 48I); “se eram cargas positivas, elas se repeliam; se era uma carga positiva e outra negativa, elas se atraíam”. Na figura 54, a aluna 9 realiza gestos que refere-se a imagem mental representando cargas de sinais negativos, no qual suas linhas de campo são para dentro, mencionando que se lembrou da aula de campo elétrico de Física C, ou seja, observam-se imagens mentais advindas de origem social.

Figura 54: Aluna 9: Gesto #CEN: Carga Elétrica Negativa.



Fonte: A pesquisa.

CEN: Carga Elétrica Negativa: demonstra com as mãos, indicando pelo movimento dos dedos para dentro que cargas negativas se atraem.

### Considerações

➔ Após os indícios levantados individualmente dos cinco alunos referentes às imagens mentais e *drivers* em relação ao conceito da linha de campo elétrico, observamos um entrelaçamento deste conceito com os mecanismos externos de mediação social e cultural,

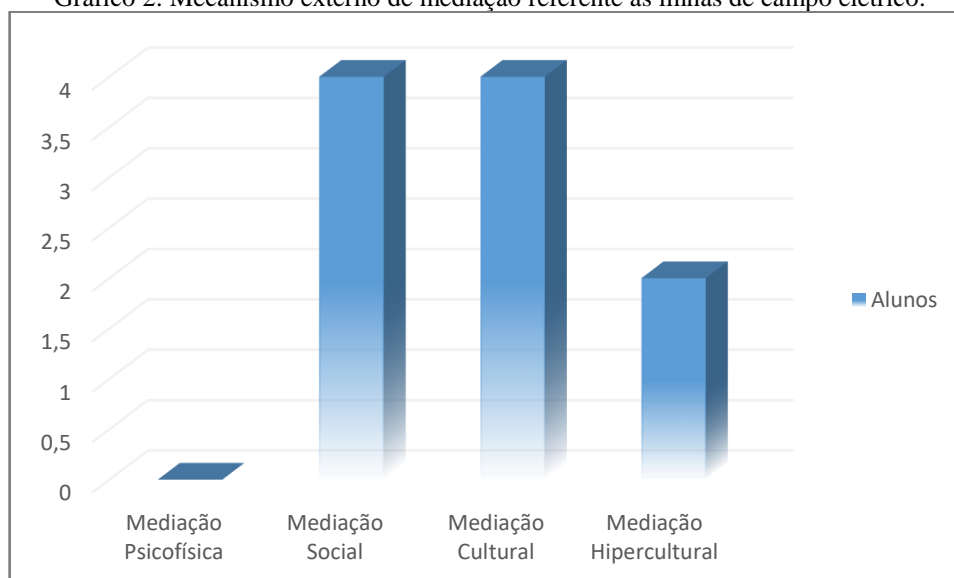
conforme síntese no quadro 6. Nela apontamos que a mediação social e cultural (Gráfico 2), ocorreu pela interação do aluno com o professor e materiais em sala de aula. Acreditamos que essas mediações se sobressaíram pelo fato de que a simulação não explora as linhas de campo, mas, sim, os vetores do campo elétrico.

Quadro 6: Índícios de mecanismo externo de mediação referente as linhas de campo.

Situação-problema	Mecanismo externo de mediação Aluno 5	Mecanismo externo de mediação Aluna 6	Mecanismo externo de mediação Aluno 7	Mecanismo externo de mediação Aluna 8	Mecanismo externo de mediação Aluna 9
Linhas de campo elétrico	Social e cultural	Não modificou	Social, cultural e hipercultural	Social, cultural e hipercultural	Social e cultural

Fonte: A pesquisa.

Gráfico 2: Mecanismo externo de mediação referente as linhas de campo elétrico.



Fonte: A pesquisa.

Assim sendo, na investigação referente às linhas de campo elétrico, percebemos que os indícios dos processamentos externos social e cultural sobressaíram. Acreditamos que isso tenha ocorrido porque a simulação computacional não representava as linhas de campo, ou seja, a simulação abordava apenas os vetores que eram gerados pelas cargas. Por isso que os alunos, na resolução das situações-problema, apontavam somente os conhecimentos relacionados às aulas e aos materiais.

### 6.2.3 Vetor campo elétrico

A análise deste conceito está associado ao vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , sendo que o aluno, para desenvolver as situações-problema no pré e pós-teste, necessita representar o vetor. Uma vez que a carga elétrica gera um campo ao redor, no qual, seja qual for o ponto situado nesse campo, existe um vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , correspondente, associado a um módulo (intensidade), uma direção e um sentido (HALLIDAY; RESNICK, WALKER, 2010). As linhas de campo discutidas anteriormente são imaginárias, orientadas em cujos pontos o vetor campo elétrico é tangente à linha e possui o mesmo sentido.

#### Universal abstrato

- A mediação hipercultural fornece a representação do vetor campo elétrico gerado pela carga elétrica. Entretanto, a mediação social e cultural advém da construção conceitual de vetor.

#### Universal concreto

- A mediação hipercultural é evidenciada pelos alunos 5, 6, 7, 8 e 9 em que a simulação computacional no GeoGebra propicia a visualização do vetor campo elétrico gerado por uma carga elétrica. A concepção de vetor no aluno 7 advém da mediação social e cultural correspondente ao estudo no colégio.

#### Evidências

➡ Observando as figuras 44, 45, 46, 47 e 48, encontra-se a representação da situação-problema do pré-teste e do pós-teste, consideramos que o aluno 5 e a aluna 8 não representam os vetores do campo elétrico em nenhuma das situações-problema no pré-teste, porém, no pós-teste os dois desenharam os vetores semelhantes com os sentidos do campo gerados por essas cargas, ou seja, para dentro ou para fora, negativo ou positivo próximo ao ponto P.

Porém, foi pela mediação hipercultural, depois do contato com o GeoGebra, que percebemos indícios de alteração de imagens mentais do aluno 5, já que no pós-teste o aluno desenha o vetor saindo da carga e indo em direção ao ponto (Figura 44II).

**Aluno 5:** Uma coisa que aprendi no GeoGebra, muito importante, é que, na minha cabeça antes, ah... Como vou dizer? Se o sentido fosse... Eu estava aqui, na verdade,

a linha do campo partia do ponto, e depois eu vi no GeoGebra que a linha de campo partia da carga. Foi o que eu mais aprendi no GeoGebra.

Associada à fala e à representação, acreditamos que o aluno utiliza um *driver* adquirido na simulação do GeoGebra (Figura 52), onde as linhas são gerada pelas cargas, e não no ponto. Porém, ele fala em linhas de campo, mas, pela representação, está se referindo ao vetor gerado pelo campo.

➡ Na entrevista, a aluna 8 menciona: *“me chamou atenção, porque ele calculava bem certinho, as flechinhas, tudo, ele dava certinho. Tu vias flechinha, já voltava aqui. Não sei, muito certinho do GeoGebra”*. Consideramos, aqui, *drivers* de origem hipercultural visualizada, adquirida na simulação: *“porque na nossa cabeça, acho que não passa isso, como mostra no GeoGebra, bem certinho. Mais para o canto, dá onde ela vai sair, todos os valores corretos”*. Casperson e Linn (2006) apontam que os efeitos da visualização no computador dos fenômenos na eletrostática aumentam a compreensão e capacidade dos alunos sobre a visão microscópica e macroscópica do eletromagnetismo.

➡ A aluna 6 representou incorretamente e depois passou a representar corretamente. A concepção equivocada sobre carga elétrica antes da simulação resultou na representação errada da direção dos vetores produzidos pelas cargas elétricas (Figura 45I), nas três situações-problema do pré-teste: *“Eu me confundi”*. Já no pós-teste (Figura 45II), a aluna passou a representar corretamente, dominando as situações, provavelmente devido à atividade no GeoGebra, com mediação hipercultural.

Percebemos na aluna 6 e aluna 8 que o uso de um mecanismo de processamento extracerebral proporcionou condições para que elas pudessem utilizar as capacidades cerebrais refletindo acerca das informações apresentadas por intermédio da Simulação Computacional no GeoGebra.

➡ Podemos considerar que não ocorreu nenhuma modificação de imagens mentais para resolver as situações-problema no aluno 7, ele demonstrou-a corretamente tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Ele descreve:

**Aluno 7:** que eu estudei assim no colégio.

**Pesquisadora:** e tu já tinha visto estudado campo elétrico na escola?

**Aluno 7:** mas não assim tu vê, o importante é tu ver o vetor.

**Pesquisadora:** sim.

**Aluno 7:** a direção que vai, isso ai não.



“que eu estudei assim no colégio”, em relação ao vetor, mediação social e cultural, mas que apenas o estudo na escola não é possível ver o vetor, e por intermédio da simulação ela auxilia na visualização “o importante é tu ver o vetor, [...] a direção que vai, isso aí não”, ainda complementa na entrevista sobre o GeoGebra “é porque, ficou mais proporcional ao tamanho dos vetores também” com a mediação hipercultural passou a não ser mais abstrato para ele. Sendo Wu, Krajcik e Soloway (2001) as visualizações interativas dos fenômenos podem ajudar os alunos a compreenderem os conceitos estudados em questão. Tanto que o aluno refere-se as cores correspondentes dos vetores gerados pelas cargas utilizado na simulação:

**Aluno 7:** tipo, primeiro escolhia ali, as cargas que queria colocar no sistema o valor delas, o sinal, se era positiva ou negativa, aí tinha que ir colocando ali cargas calculando.

**Pesquisadora:** tu lembra da cor, essas coisas assim?

**Aluno 7:** tinha, a gente trabalhou era uma vermelha outra azul.

**Pesquisadora:** as cores ali, ah sim as cores da carga, uma cor vermelha, uma carga azul. Ótimo, ótimo!

**Aluno 7:** ele dava um vetor de cada cor né.

**Pesquisadora:** sim.

**Aluno 7:** e a resultante dava diferente, né.

**Pesquisadora:** ótimo, então a cor vermelha, era tal resultante de tal carga, a azul era resultante de outra. Tu lembra da tela, como ela era?

**Aluno 7:** sim.

**Pesquisadora:** como ela era?

**Aluno 7:** ah tinha dependendo da carga que colocasse ela ia mudar as linhas de forças

**Pesquisadora:** mudava as linhas?

**Aluno 7:** mudava automático.

**Pesquisadora:** ótimo, ótimo!

**Aluno 7:** daí a gente visualizava, o que ia acontecer com duas cargas.

➡ A aluna 9 representou os vetores apenas na primeira situação-problema do pré-teste. Nas demais, ela nem tentou desenhar, explicando na segunda situação-problema: “Aqui, eu não sei como era no começo, eu não associei com nada, que, na verdade, deveria ser diferente [...]”. Contudo, após a interação com a simulação computacional no GeoGebra, ela adquiriu *drivers* na interação hipercultural e passou a representar o vetor campo elétrico em todas as situações-problema: “como eu disse antes, eu lembrei bastante era do GeoGebra, o que acontecia, não é? E a mesma situação eu tracei com uma forma do paralelogramo”.

Com relação a nossa análise Mello e Silva (2012) apontaram que os alunos demonstraram o desenvolvimento das habilidades características do pensamento matemático, como formular hipóteses e argumentos para resolver os problemas e apropriação dos conceitos envolvidos pelas representações extraídas das situações pela utilização do ambiente virtual pelos alunos.

## Considerações

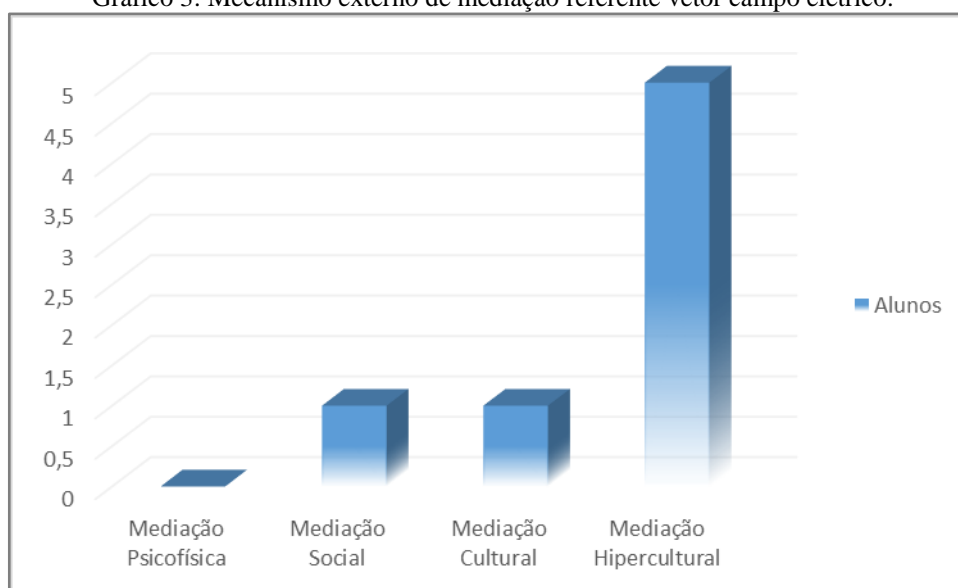
➔ Os alunos 5, 6, 7, 8 e 9 evidenciaram indícios do mecanismo externo predominante a mediação hipercultural (Quadro 7 e Gráfico 3) na modificação e/ou construções das imagens mentais e *drivers* a respeito da discussão do vetor campo elétrico  $\vec{E}$ . Nesse sentido, apontamos que, para a visualização do vetor campo elétrico, a simulação computacional associada ao GeoGebra possibilita um melhor entendimento sobre o vetor gerado por uma carga. Sendo assim, concordamos com Hanc et al. (2011), onde o GeoGebra oferece a oportunidade de desenvolver a definição dos gráficos e ações diminuindo os equívocos que os alunos possuem em relação a definição de vetores de força elétrica e campo elétrico.

Quadro 7: Indícios de mecanismo externo de mediação referente o vetor campo elétrico.

Situação-problema	Mecanismo externo de mediação Aluno 5	Mecanismo externo de mediação Aluna 6	Mecanismo externo de mediação Aluno 7	Mecanismo externo de mediação Aluna 8	Mecanismo externo de mediação Aluna 9
Vetor campo elétrico	Hipercultural	Hipercultural	Social, cultural e hipercultural	Hipercultural	Hipercultural

Fonte: A pesquisa.

Gráfico 3: Mecanismo externo de mediação referente vetor campo elétrico.



Fonte: A pesquisa.

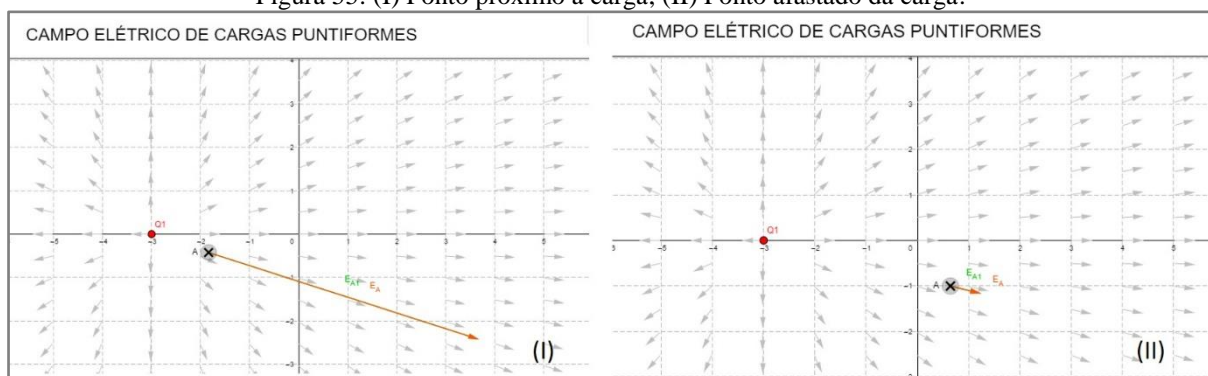
Portanto, acreditamos que a interação com a simulação computacional no GeoGebra proporcionou aos cinco alunos capacidades cerebrais em relação ao entendimento sobre o vetor

campo elétrico. Em razão disso, os alunos passaram a visualizar e interagir com os vetores, refletindo sobre a carga positiva e negativa, pois a simulação proporcionava nitidamente a visualização desses vetores.

#### 6.2.4 Campo elétrico relacionado a distância

Para responder as situações-problema propostas no pré e pós-teste, exige que o aluno associe que o módulo do campo elétrico é diretamente proporcional ao inverso do quadrado da distância entre a carga e o ponto considerado. Ou seja, a intensidade do campo elétrico é maior nas extremidades da carga, então o módulo do vetor será maior (Figura 55I), afastando o ponto da carga, o módulo do vetor diminuirá (Figura 55II).

Figura 55: (I) Ponto próximo a carga; (II) Ponto afastado da carga.



Fonte: Imagem extraída da simulação.

#### Universal abstrato

- A imagem mental que o campo elétrico varia com a distância é estabelecida pela mediação hipercultural.

#### Universal concreto

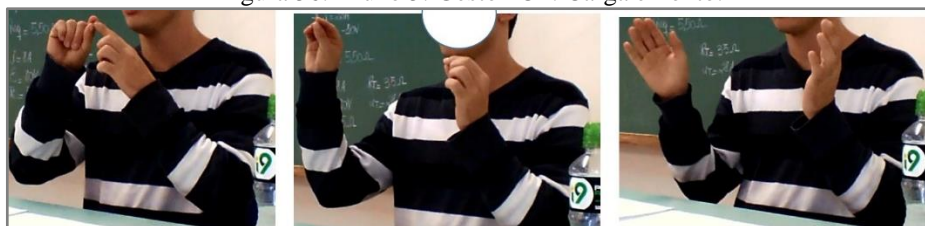
- Os alunos 5, 6, 7, 8 e 9 apropriam-se da mediação hipercultural advinda da simulação computacional para o entendimento da relação entre a distância e a intensidade do vetor campo elétrico.

#### Evidências

➡ A concepção que o aluno 5 descreve está equivocada em relação à intensidade do vetor, uma vez que, quando aproximamos da carga elétrica, o módulo do vetor campo elétrico é maior,

e não menor: “quando eu aproximava o ponto da carga (Figura 56), diminuía o vetor” (Figura 57); “[...] Essa eu entendi, porque eu pegava... Se tivesse um ponto aqui e uma carga positiva aqui, a carga positiva, ela repele. Eu partia do ponto. Depois, eu aprendi que o vetor parte da carga”. Fazendo gestos referente a imagem mental demonstrando o ponto e a carga a uma determinada distância.

Figura 56: Aluno 5: Gesto #CP: Carga e Ponto.



Fonte: A pesquisa.

#CP: Carga e o Ponto: com a mão fechada e os dedos aproximados, o aluno representa a carga em uma determinada posição e o ponto a certa distância da carga.

Figura 57: Aluno 5: Gesto #MV: Módulo do Vetor.



Fonte: A pesquisa.

#MV: Módulo do vetor: representa com as mãos a intensidade dos vetores, evidenciando a diferença de intensidades dos campos quando estão próximos e afastados.

Trata-se de mediação hipercultural pelo fato de que o aluno associa à simulação computacional, apontando anteriormente na entrevista que “a linha de campo partia da carga. Foi o que eu mais aprendi no GeoGebra”. O que o aluno 5 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.

➡ A aluna 6 responde que “ele ia ficar mais, o valor da intensidade maior” (Figura 58); “[...] porque, quanto mais perto, maior o campo elétrico”. Percebe-se mediação oriunda da simulação do GeoGebra – mediação hipercultural: “vi no GeoGebra, de acordo com a carga um pouco maior, de acordo com a carga um pouco menor”.

Figura 58: Aluna 6: Gesto #MV: Módulo do Vetor.



Fonte: A pesquisa.

#MV: Módulo do vetor: representa com as mãos a intensidade dos vetores, representando a diferença de intensidades dos campos, quando está próximo e afastado.

➡ Segundo o aluno 7 “o vetor, esse seria tipo menor e esse maior (Figura 59)” sendo a concepção correta, “porque um é mais perto e o outro é mais longe” quando questionado referente a aproximação do ponto na carga ele afirma “aumentava o campo”, ou seja, aumentava a intensidade do vetor. Indícios da mediação hipercultural, dado que, a pesquisadora induziu na pergunta referindo-se ao GeoGebra.

Figura 59: Aluno 7: Gesto #MD: Movimento do desenho.



Fonte: A pesquisa.

# MD: Movimento do Desenho: demonstra com o movimento do dedo indicador como se estivesse desenhando no caderno, na folha ou no quadro a carga elétrica, campo elétrico ou vetor campo elétrico.

➡ Para a aluna 8, afastando-se, o campo será menor, e aproximando-se, será maior:

**Aluna 8:** se eu afastar, eu acho que ela vai ficar menorzinha (Figura 60I).

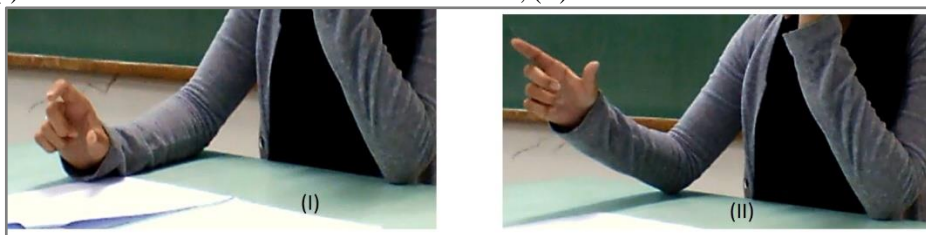
**Pesquisadora:** a resultante fica menor, se eu aproximar.

**Aluna 8:** fica maior (Figura 60II).

**Pesquisadora:** fica maior. Tá, ótimo.

Acreditamos que a aluna 8 adquiriu *drivers* hiperculturais durante a simulação computacional e esteja relacionando com a imagem acima visualizada no GeoGebra, em função do questionamento realizado pela pesquisadora na seguinte pergunta “mas se tem [...] bastante carga, ou pouca carga, muda a intensidade do campo?” a estudante responde “acho que muda a resultante. Muda. Acho que muda, porque no GeoGebra muda”.

Figura 60: (I) Aluna 8: Gesto #MV: Módulo do vetor menor; (II) Aluna 8: Gesto #MV: Módulo do vetor maior.

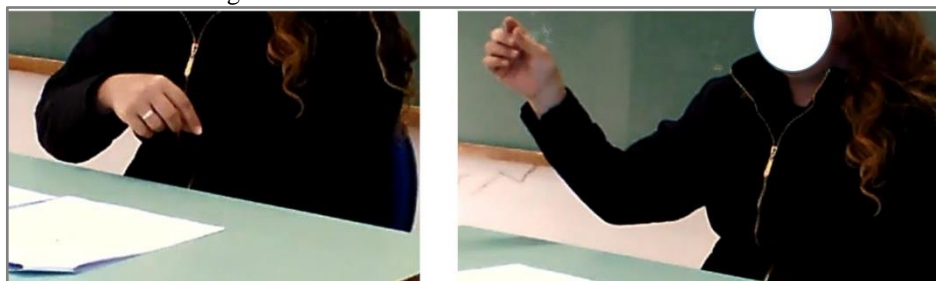


Fonte: A pesquisa.

#MV: Módulo do vetor: representa com as mãos a intensidade dos vetores, representando a diferença de intensidades dos campos, quando está próximo e afastado.

➔ A aluna 9 respondeu que, quando aproximamos o ponto da carga, “*elas ficavam maiores*” (Figura 61), referindo que aumenta a intensidade e que, quando se afastava o ponto, “*elas diminuíam*”. Ainda afirmou: “*ela é inversamente proporcional à distância porque, quanto mais longe, menor é a intensidade; quanto mais perto, maior a intensidade...*”. Provavelmente, a imagem mental à qual a aluna está se referindo está de acordo com a do GeoGebra, apontando indício da aquisição de *drivers* hiperculturais, uma vez que, na pergunta feita pela pesquisadora era “*no GeoGebra, o que acontecia quando tu aproximasse este ponto das cargas?*”.

Figura 61: Aluna 9: Gesto #MV: Módulo do Vetor.



Fonte: A pesquisa.

#MV: Módulo do vetor: representa com as mãos a intensidade dos vetores, representando a diferença de intensidades dos campos, quando próximo e quando afastado.

### Considerações

➔ A partir dos indícios apontados referentes às modificações e/ou construções nas imagens mentais e *drivers* a respeito da discussão da intensidade do vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , observamos no aluno 5, aluna 6, aluno 7, aluna 8 e aluna 9 um entrelaçamento predominante (Quadro 8) da mediação hipercultural (Gráfico 4), por meio da simulação computacional no GeoGebra, em que o aluno consegue se apropriar da representação hipercultural advinda do *software* estabelecendo uma relação entre a distância da carga e do ponto.

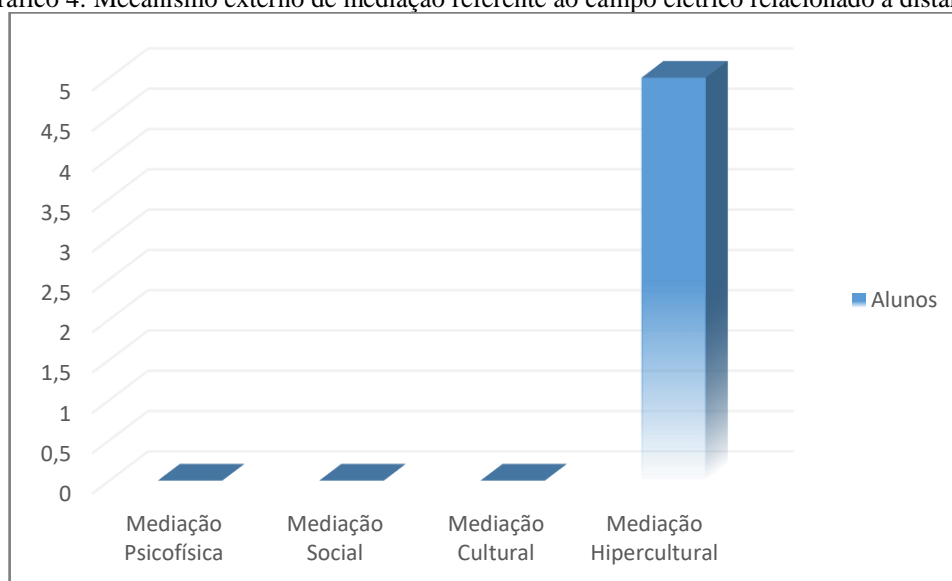
Os gestos feitos pelo no aluno 5, aluna 6, aluno 7, aluna 8 e aluna 9 referem-se as imagens mentais e *drivers* devido a utilização da Simulação Computacional no GeoGebra, ou seja, imagens mentais com origem em uma mediação digital. E acreditamos serem estes gestos conforme Souza (2014) indícios da aquisição de novos *drivers* pelos estudantes e que estes 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.

Quadro 8: Indícios de mecanismo externo de mediação referente ao campo elétrico relacionado a distância.

Situação-problema	Mecanismo externo de mediação Aluno 5	Mecanismo externo de mediação Aluna 6	Mecanismo externo de mediação Aluno 7	Mecanismo externo de mediação Aluna 8	Mecanismo externo de mediação Aluna 9
<b>Campo elétrico relacionado a distância</b>	Hipercultural	Hipercultural	Hipercultural	Hipercultural	Hipercultural

Fonte: A pesquisa.

Gráfico 4: Mecanismo externo de mediação referente ao campo elétrico relacionado a distância.



Fonte: A pesquisa.

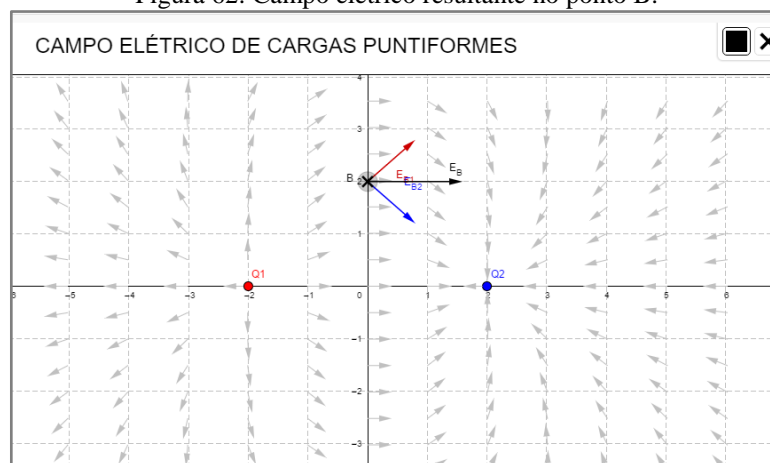
Desse modo, acreditamos que a mediação hipercultural ficou evidenciada, pois a simulação computacional no GeoGebra possibilitava interagir e visualizar, por meio dos vetores, a intensidade da força que o campo elétrico estava exercendo sobre um determinado ponto; esses vetores eram diferenciados por cores, facilitando o entendimento dos alunos.

### 6.2.5 Vetor campo elétrico resultante

Esse item de análise conduz para o entrelaçamento dos conceitos na resolução das situações-problema em relação ao vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{RES}$ , ou seja, requer que o aluno utilize as informações disponíveis do campo conceitual da eletrostática, por intermédio das relações, condições, atributos, objetos e circunstâncias.

Sabendo-se que uma carga produz um campo elétrico  $\vec{E}$  em todos os pontos do espaço, e que, devido a um sistema de cargas (mais que duas cargas elétricas), o campo elétrico em um ponto B sobre a ação de várias cargas é a soma vetorial dos campos elétricos em B devidos às cargas individuais (Figura 62).

Figura 62: Campo elétrico resultante no ponto B.



Fonte: A pesquisa.

#### Universal abstrato

- O uso combinado da mediação social, cultural e hipercultural fornece subsídios para determinar o campo elétrico resultante.

#### Universal concreto

- O aprendizado da resultante de um campo elétrico dos alunos 5, 6, 7, 8 e 9 envolve o uso combinado de diferentes representações e *drivers* adquiridos na mediação social referente às aulas, mediação cultural aos cadernos e exercícios e mediação hipercultural relacionada à simulação computacional no GeoGebra.



## Evidências

➔ O mecanismo externo de mediação, não auxiliou o aluno 5 a respeito de modificação ou aquisição de *drivers* e imagens mentais em relação ao vetor campo elétrico resultante, pois ele não apresentou nenhuma alteração no pós-teste. Quando questionado em relação ao seu pré-teste, alegou que “*não sabia*” determinar. Contudo, no pós-teste, novamente não representou: “*mas eu não lembro como encontrar, daí, eu preferi não colocar nada a colocar uma coisa errada*”.

**Aluno 5:** Eu não estudei na aula, eu fiz no GeoGebra, mas fiz com a cabeça meio voando. Mas tinha atividade no GeoGebra, eu lembro que tinha atividade [...] eu me lembro do vetor, eu lembro que tinha no formulário, lembro que a gente copiou, lembro que tinha atividade, a gente pegou e fez. Eu acho que nessa questão, como a gente dividiu, eu não prestei muita atenção em como fazer. Foi a minha dupla que ajudou.

O aluno 5 refere que estudou na aula (mediação social) e do GeoGebra (mediação hipercultural) e no formulário (mediação cultural), mas, em termos dos conceitos trabalhados na disciplina – no caso, o vetor campo elétrico resultante -, o GeoGebra não modificou, não há evidências da modificação de *drivers*, não ocorrendo um domínio da situação-problema proposta (Figura 44I; 44II). Nesta explicação ainda está contido fortemente o *driver* social estudado na aula, mesmo após a utilização da Simulação Computacional no GeoGebra. O aluno 5 não representou a resultante em nenhuma das situações do pré e pós-teste.

Corroborando com essa ideia de dificuldade, Souza et al. (2013) apontam os embaraços dos alunos referente o conceito de vetor campo elétrico na engenharia, onde a interação é complexa devido a visualização e a noção abstrata de campo elétrico.

O teorema-em-ação utilizado pelo aluno 5, dentro da situação-problema relacionado ao vetor campo elétrico resultante está associado ao vetor, enquanto seu conceito-em-ação refere-se ao vetor. Conforme definido por Vergnaud (1990), o conceito-em-ação de algo está imbricado à situação problema específica (pela tríade: Situação - Invariante Operatório – Representações Simbólicas ) portanto, como estudante não produziu gestos, define-se os conceitos e teoremas-em-ação conforme fizemos. Contudo, há de se observar que o mesmo aluno 5, quando perguntado sobre situações específicas de álgebra vetorial, apresenta uma riqueza maior em seus gestos e consequentemente teoremas-em-ação (ver sessão 6.2.4 Campo elétrico relacionado a distância).

→ A aluna 6, ao representar o vetor campo elétrico resultante se equivocou nas três situações-problema do pré-teste. Se observarmos a figura 45I, a aluna se equivocou na representação do sentido do vetor campo elétrico, a aluna 6 reporta que traçou mediante a resultante dos vetores.

**Aluna 6:** [...] eu tinha que ver em relação a um ponto, que é o ponto P. Neste ponto P, eu pensei que ele iria atrair. Minha reação do campo elétrico seria de atração com carga, então, eu tracei uma flechinha e, com a carga um, o campo elétrico 1, e na carga dois, o campo elétrico 2, e com o diagrama de corpo livre, se não me engano, eu traço a resultante, que é pegar uma flechinha, o fio final dela, com o início da outra, e se encontra a flechinha, o final de uma com o início da outra.

Quando a aluna 6 refere-se a flechinha ela está associando ao vetor. Contudo, após a simulação no pós-teste, ela fez corretamente (Figura 45II), apontando a utilização do diagrama de corpo livre para determinar a resultante *“tracei também, da mesma forma, o diagrama do corpo livre resultante para deslocar”*.

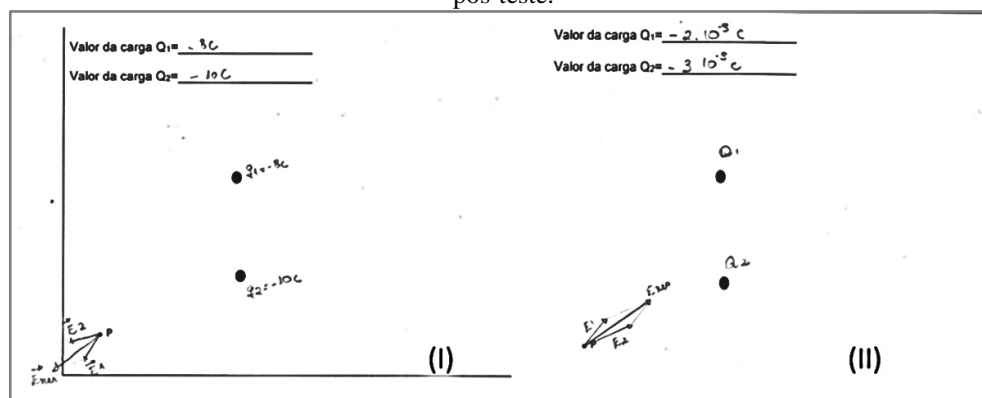
Quando questionada pela pesquisadora sobre o que mudou do pré-teste para o pós-teste, a aluna 6 aponta que na primeira vez a carga estaria se atraindo, na qual percebeu que *“estudando mais com o passar dos dias que na verdade ela se repelia, já tinha sido dito em aula, só que na hora eu me confundi, até terminei de fazer e fui ver se estava certo ou não”* o conhecimento demonstrado pela aluna 6 foi adquirida em sala de aula de Física III, por intermédio da interação aluno-professor causando, assim como um *driver* social e cultural, tendo como mediador a interação social.

As imagens mentais adquiridas no mecanismo externo de processamento de informações, ou seja na simulação, serviram para a aluna como um ganho representacional para ela reorganizar seus conceitos: *“depois, com o GeoGebra, eu também já vi isso; na hora, eu já fui vendo”* durante a interação hipercultural. Dessa forma, as duas mediações cognitivas – a hipercultural e a cultural – foram importantes para a aprendizagem de campo elétrico resultante. A aluna 6, por intermédio desses mecanismos externos, passou a dominar a situação de campo elétrico resultante.

Na segunda situação-problema a aluna 6, no pré-teste (Figura 63I) também representou incorretamente, e após as atividades e a simulação no pós-teste passou a representar corretamente apontando que traçou a resultante (Figura 63II).

**Aluna 6:** O vetor resultante, num ponto de acordo com cargas negativas, ele vai ser atraído, porque na verdade depois estudando pra prova neh que era próxima destes exercícios eu vi que a gente sempre tem que encarar um ponto com um valor positivo então positivo com uma carga negativa vai se atrair que é contrário da questão número um, que seria se repelir.

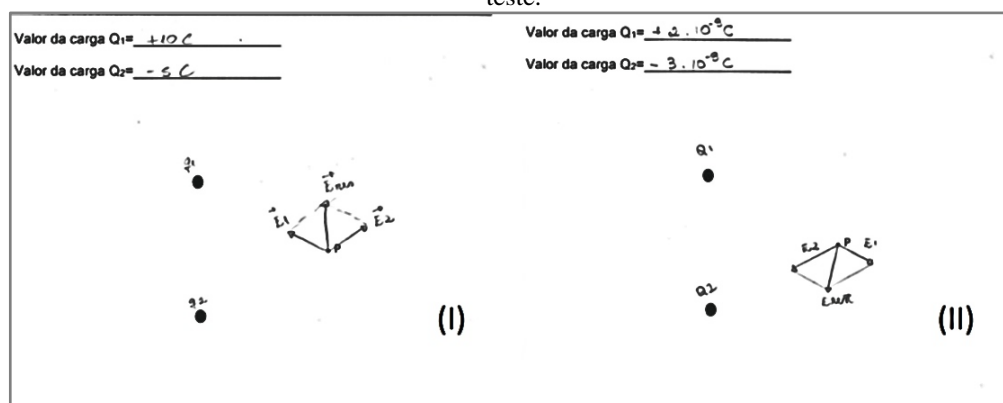
Figura 63: (I) Aluna 6: Segunda situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 6: Segunda situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

Também verificamos indícios da mediação cultural, por ter estudado. A aluna explica vetores por intermédio da carga. Na terceira situação-problema, aluna 6 refere-se que no pré-teste se equivocou novamente por causa das cargas, contudo traçou pensando no diagrama de corpo livre (Figura 64I).

Figura 64: (I) Aluna 6: Terceira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 6: Terceira situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

No pós-teste na terceira situação-problema a aluna, afirma que mudou por causa da concepção sobre cargas, e que traçou o diagrama de corpo livre para encontrar a resultante “*não coloquei um tamanho qualquer de vetor eu já coloquei um tamanho compatível com a carga, no caso  $E_1$ , é dois da carga e o  $E_2$  é três da carga dois*” (Figura 65II)”.

O conceito-em-ação de vetor campo elétrico resultante para a aluna 6, refere-se a vetores no espaço, tal qual visto no *software* GeoGebra, efetivamente “*flechinhas*”. Já seus teoremas-em-ação poderiam ser enunciados:

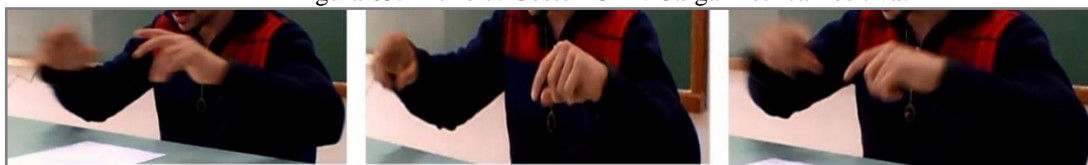
- “O vetor campo elétrico é produzido por cargas e sua direção, sentido e intensidade estão relacionados à carga da mesma, apresentando atração ou repulsão”.

- “O campo elétrico resultante em um ponto é obtido a partir do “diagrama de corpo livre<sup>18</sup>” (na realidade a regra do paralelogramo)”.

➔ O aluno 7, em sua fala na entrevista sobre a primeira situação-problema (Figura 47I), expressou: “o vetor dela tende a sair dessas cargas positivas” (Figura 65). “Então, ela vai nessa direção e nessa também, [...] campo resultante, que gera um campo resultante das duas”. Isso nos leva a observar de acordo com Wolff (2015), que a informação transmitida gestualmente está relacionada com a transmitida verbalmente, portanto, os gestos auxiliam na transmissão de informação.

Já quando afirma que traçou a resultante entre elas a partir da lei do paralelogramo, porém, não representou com gestos os vetores gerados, sendo que a imagem mental utilizada por ele foi adquirida por mecanismo de mediação social, quando menciona que aprendeu a determinar nas aulas de Física. E mediação cultural, quando utilizou a lei do paralelogramo nos exercícios de física.

Figura 65: Aluno 7: Gesto #CEP: Carga Elétrica Positiva.



Fonte: A pesquisa.

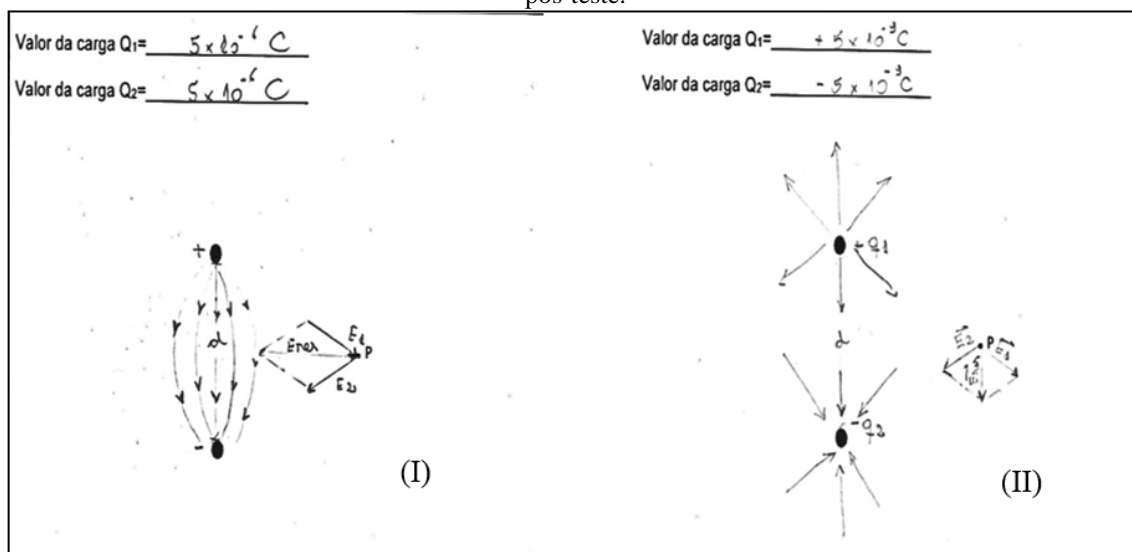
#CEP: Carga Elétrica Positiva: demonstra com as mãos, indicando pelo movimento dos dedos que as linhas de campo são direcionadas para fora e que se repelem.

Na segunda situação-problema, o aluno 7 acertou a representação tanto no pré-teste como no pós-teste, afirmando que “*não, a princípio não*” tinha diferença da maneira que traçou a resultante entre os dois testes.

Na terceira situação-problema, o aluno representou incorretamente o vetor campo elétrico resultante na situação-problema do pré-teste (Figura 66I), no entanto, no pós-teste, acertou (Figura 66II), passando a dominar a situação. A TMC defende que a interação dos mecanismos externos gera mudanças internas, aumentando a capacidade cognitiva do indivíduo, o que resulta no processamento cerebral (SOUZA; ROAZZI, 2007).

<sup>18</sup> A aluna estava, neste momento do semestre, cursando a disciplina de Mecânica Geral, que utiliza a técnica de diagrama de corpo livre e em seguida operações de soma de vetores.

Figura 66: (I) Aluno 7: Terceira situação-problema do pré-teste; (II) Aluno 7: Terceira situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

Na sua fala, temos indícios de que suas imagens mentais sofreram modificações devido ao mecanismo externo por meio da simulação computacional, uma vez que ele diz que foi pela simulação computacional, realizada no GeoGebra, que percebeu que havia invertido: “[...] *Eu fiquei assim, acho que inverti. Foi no GeoGebra que eu vi. [...] tipo, lá, era mais fácil para tu veres as flechinhas assim, [...] aí, tu sabias direcionar, onde seria resultante, [...] isso da simulação. Porque eu nunca tinha visto assim, uma imagem. Fica fácil de visualizar assim. É bem mais fácil visualizar do que de outras formas*”, indícios de mediação Hipercultural. O depoimento do aluno 7, 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 que são apresentadas através da Simulação Computacional no GeoGebra.

O aluno 7 também fez referência à cor dos vetores gerados pelas cargas, tendo-se trabalhado com as cores das cargas vermelhas e azuis, com os vetores gerados correspondentes: “*ele dava um vetor de cada cor, não é?*”, onde, “[...] *dependendo da carga que colocasse, ela ia mudar as linhas de forças*”; “*daí, a gente visualizava o que ia acontecer com duas cargas*”. Isso denota imagens mentais da simulação, com *drivers* hiperculturais.

Desse modo, percebemos que o aluno 7 possui conhecimentos das aulas de Física do Ensino Médio e das aulas de Física da graduação sobre campo elétrico, apontando indícios da mediação social, devido à interação com as aulas, mas foi com a mediação hipercultural, por meio do GeoGebra, que ele passou a dominar a situação-problema, construindo, através da

visualização das representações simbólicas, as linhas de força em relação ao comportamento dos vetores.

O teorema-em-ação utilizado pelo aluno 7, dentro da situação-problema relacionado ao vetor campo elétrico resultante está associado a lei do paralelogramo que determina o campo resultante, enquanto seus conceitos-em-ação refere-se ao vetor como “flechinhas”, em forma muito semelhante à Aluna 6.

➔ A aluna 8, semelhante ao aluno 5, também não traçou em nenhuma situação-problema do pré-teste os vetores gerados pelas cargas no ponto P, alegando que “*não sabia*”, e no pós-teste indicou alguns vetores, determinando a resultante.

Onde na primeira situação-problema para determinar o vetor campo elétrico resultante, a aluna 8 utilizou equações (Figuras 47I e 47II), porém, no pré-teste fez uso da equação da força eletrostática  $F = K \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$ , determinando o módulo dessa força (Figura 47I). Já no pós-teste, escreveu a equação do campo elétrico  $\vec{E} = \frac{K \cdot q}{r^2}$ , mas sem nenhuma substituição de valores.

Quando questionada sobre como determinou o vetor campo elétrico resultante, a aluna alega que a resultante é, entre os vetores: “*a resultante é a resultante das duas*”, conforme a aula: “*ah, do caderno, da aula, [...] da explicação*”, esclarecendo que é da aula de Física: “*lembro ela falando que, quando tem duas cargas, daí vai sair o campo, não é? É campo, não é? É campo. As duas vão ter que sair, vai ter que dar a resultante no ponto, isso vai dar uma resultante. Mais ou menos, eu pensei, isso aqui vai sair para cá*”; tratam-se de drivers adquiridos da mediação social e cultural. Porém, na primeira pergunta ela não representa corretamente a resultante, mas possui conhecimento de como determinar.

As mediações sociais e culturais, com influência da mediação hipercultural, ou seja, mediante o contato com o GeoGebra, auxiliou a aluna na visualização e entendimento: “*lembra que a gente fez aqui no computador, [...] no GeoGebra, colocava a carguinha, colocava um ponto [...] e a gente via aonde as setinhas iam para dar a resultante, a quantidade que mais ou menos eu sabia, ou sei que dá a resultante*” (Figura 67). A aluna ainda afirma lembrar-se do GeoGebra: “*eu não sei, da minha cabeça sai reto, porque, quando a gente fez no GeoGebra, saía daquele jeito, daí ficou gravado, não sei, [...] tudo me baseei no GeoGebra para a segunda prova*”. A aluna 8 faz referência à prova, pois primeiro realizamos em aula o pré-teste e a simulação, no dia seguinte, a prova, e no outro, o pós-teste.

Figura 67: Aluna 8: Gesto #RV: Representação do Vetor.



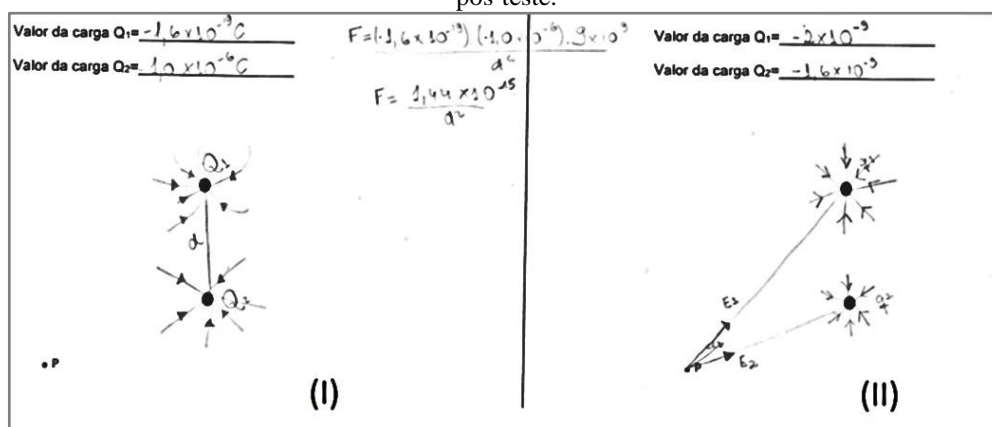
Fonte: A pesquisa.

#CP: Carga e o ponto: com a mão fechada e os dedos aproximados, representa a carga em uma determinada posição e o ponto a certa distância da carga.

#RV: Representação do Vetor: representa com a mão, os dedos a partir da atribuição de valores para as cargas; o vetor possui um sentido, ou direção.

Na segunda questão do pós-teste, as cargas eram duas negativas, a aluna representou corretamente (Figura 68I), explicando que desenhou porque verificou no GeoGebra: “[...] Deve ter dado no GeoGebra também. Alguma negativa deve ter voltado. Eu não lembro. Ah, porque ela atrai, não é? Daí, a resultante, ela puxa” (Figura 69). “Ela atrai, não é?” Esses drivers foram sendo adquiridos por meio da interação com a simulação computacional.

Figura 68: (I) Aluna 8: Segunda situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 8: Segunda situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

Figura 69: Aluna 8: Gesto #CEN: Carga Elétrica Negativa.

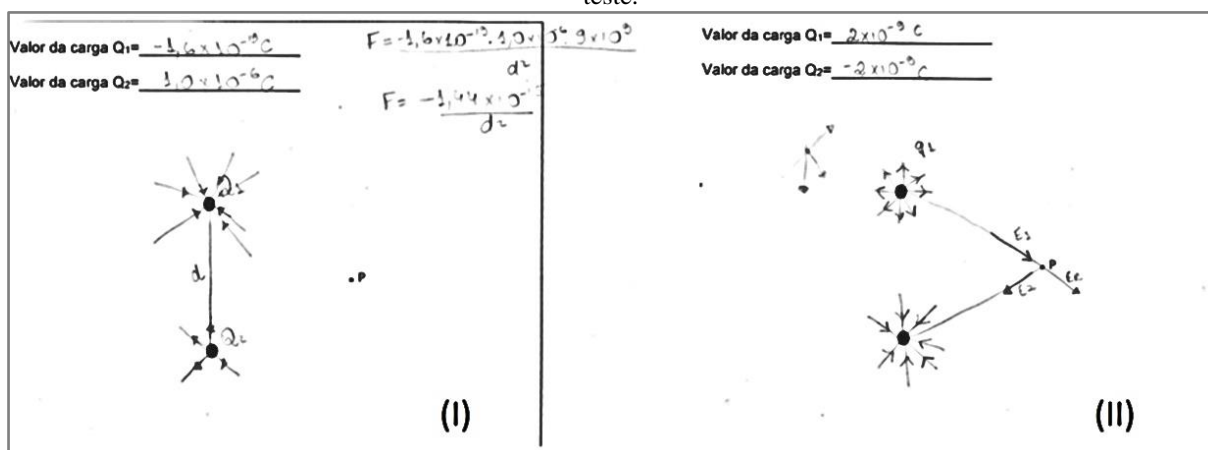


Fonte: A pesquisa.

#CEN: Carga Elétrica Negativa: demonstra com as mãos, indicando com o movimento dos dedos para dentro que cargas negativas se atraem.

Na terceira situação-problema (Figura 70II), no pós-teste a aluna 8 representou o vetor resultante, porem como se decorresse da extensão do campo elétrico gerado pela carga 1. Quando questionada como traçou a resultante ela aponta que “do GeoGebra. É que todas tinham, um mais e um menos. Daí tudo que eu lembrava mais ou menos eu aplicava aqui” novamente indícios da mediação hipercultural.

Figura 70: (I) Aluna 8: Terceira situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 8: Terceira situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

A aluna relatou que a técnica P.O.E utilizada no Guia de Simulação auxiliou na representação dos vetores, primeiro, ela fazia a previsão, depois desenvolvia a questão igual ao Guia na simulação e depois observava, justificando se o resultando encontrado era o esperado.

**Aluna 8:** Primeiro, a gente colocava, a gente fazia o nosso pensamento e depois a gente colocava lá.

**Pesquisadora:** Então, primeiro, vocês realizavam as atividades dos exercícios, da folha?

**Aluna 8:** E só depois a gente olhava se estava certo ou não o que a gente pensou. Em parte, até que a gente acertou, não fomos tão mal. Mas foi daí que eu consegui ver que eu estava fazendo muito errado disso para isso.

**Pesquisadora:** Por quê?

**Aluna 8:** Porque aqui eu acho que nem estava entendendo o que tinha que fazer, daí eu só colocava as carguinhas, o que entrava e o que saía. E aqui que eu fui realmente



calcular a partir do ponto. Calcular, não, pensar como eu calculei errado, mais ou menos aonde saía a resultante. Mas foi a partir do GeoGebra que me deu uma luz.

A aluna 8 diferencia-se dos dois anteriores por não utilizar a regra do paralelogramo. Assim, seu conceito-em-ação de campo elétrico resultante é um vetor intermediário entre os dois vetores somados. Seus teoremas-em-ação poderiam ser enunciados como (considerando-se especialmente seu eloquente discurso gestual, que concorda com seu discurso verbal):

- “O vetor resultante de duas cargas de mesmo sinal é obtido como vetor intermediário entre dois vetores, considerando-se a carga individual de cada um deles e a distância ao ponto de cálculo”;
- “O vetor resultante de duas cargas com sinal contrário está ao longo do vetor campo elétrico de apenas uma delas”.

➔ A aluna 9 representou apenas na primeira situação-problema o vetor campo elétrico resultante, na segunda e na terceira situação-problema ela não esboçou justificando: “*no primeiro momento, a gente não tinha no que olhar, eram... Não tinha o GeoGebra, tudo no caderno que a gente tinha, que passou na aula de campo elétrico, de Física C*”. Então, para o desenvolvimento, ela utilizou os *drivers* sociais e culturais construídos nas aulas de Física C.

Com isso, além da representação (Figura 48I), ela determinou a equação  $E = \frac{Kq_1}{r^2}$  para encontrar o campo elétrico gerado pela carga  $Q_1$  no ponto P.

Para definir o campo elétrico gerado pela carga  $Q_2$  no ponto P, a aluna 9 fez uso da mesma equação, mas agora com a carga  $Q_2$ . Já, para encontrar o vetor resultante gerado pelas cargas  $Q_1$  e  $Q_2$ , a mesma utilizou Pitágoras:  $E_{Res} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$  (Figura 48I). Na entrevista, porém, ela disse que utilizou a regra do paralelogramo. Apontamos uma confusão, uma vez que a regra do paralelogramo  $v^2 = v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2\cos\theta$ , adaptando para vetores gerados pelo campo elétrico, seria descrita como:  $E_{Res}^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\theta$ . Há indícios de mediação cultural quando a aluna se refere à aula de Física e de mediação cultural em relação ao caderno.

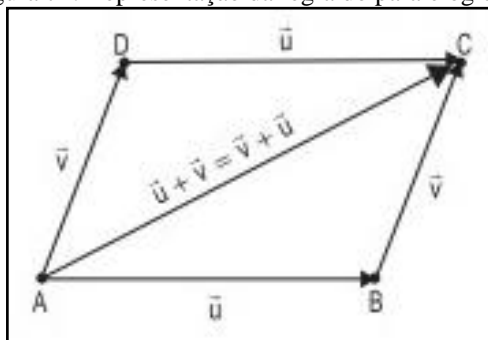
Quando questionada sobre o que veio à sua cabeça quando recebeu o pós-teste, ela evidencia a mediação hipercultural:

**Aluna 9:** Assim, depois que a gente fez aquele negócio do GeoGebra, tipo, eu logo lembrava, pois estava nítido no *software*, sabe, não sei, eu consegui fixar. Depois, ainda, na prova, sabe, foi uma coisa que eu consegui associar. Se tem para o mesmo sentido, se soma, como aconteceu na prova, mesmo sentido, que eu não precisava saber o sinal, não vai te pedir o sinal. Eu me lembrava do *software*.

Devido a isso, na primeira situação-problema do pós-teste, a aluna 9 conseguiu representar os vetores resultantes do campo elétrico. Percebe-se que ela adquiriu *drivers* hiperculturais oriundos da simulação, semelhantes aos da figura 40. Quando questionada sobre a regra do paralelogramo, ela aponta que se lembrava da aula de álgebra linear e analítica, bem como do “quadro, desenhando”, o que mobilizou *drivers* de natureza social.

Sobre a regra do paralelogramo, acreditamos que a aluna estava se referindo à representação da figura 71, uma imagem que os professores utilizam na aula. Destacamos que a aluna 9 é estudante do curso de Matemática, então, as disciplinas que são trabalhadas ao longo do curso são diferentes das dos cursos de Engenharia. Por conseguinte, sua visão sobre os conceitos são diferentes, uma vez que, o curso de Matemática está voltado à formação de professores.

Figura 71: Representação da regra do paralelogramo.



Fonte: VENTURI, 2015, p. 71.

Nas situações-problema dois e três no pós-teste a aluna representa corretamente e volta a afirmar “*como eu disse antes, eu lembrei bastante era do GeoGebra o que acontecia neh e a mesma situação eu tracei com a formula do paralelogramo*” indícios da mediação hipercultural.

As simulações computacionais atuam como mediadores hiperculturais, com a finalidade de criar novas representações mentais (teoremas-em-ação) e *drivers* no cognitivo do indivíduo, proporcionando uma aprendizagem dos conceitos abordados (SOUZA, 2004).

Na terceira situação-problema ela aponta novamente indícios de aprendizagem pela mediação social, cultural e hipercultural, uma complementando a outra.

**Aluna 9:** Das aulas e do *software* do GeoGebra, porque aqui, não sei, quando tu tem alguma coisa pra lembrar a não ser do quadro, isto te ajuda, porque aqui, eu não tinha conseguido associar, depois do *software*, porque tipo eu não tinha estudado pra isso e era depois da prova esse pós teste.

O teorema-em-ação utilizado pela aluna 9, dentro da situação-problema relacionado ao vetor campo elétrico resultante, está associado a regra do paralelogramo, enquanto seu conceito-

em-ação refere-se à setas, tal qual originada em mediação social (aulas de matemática de seu curso de matemática anterior) e reforçadas pela mediação hipercultural (GeoGebra) de forma semelhante aos alunos 6 e 7.

### Considerações

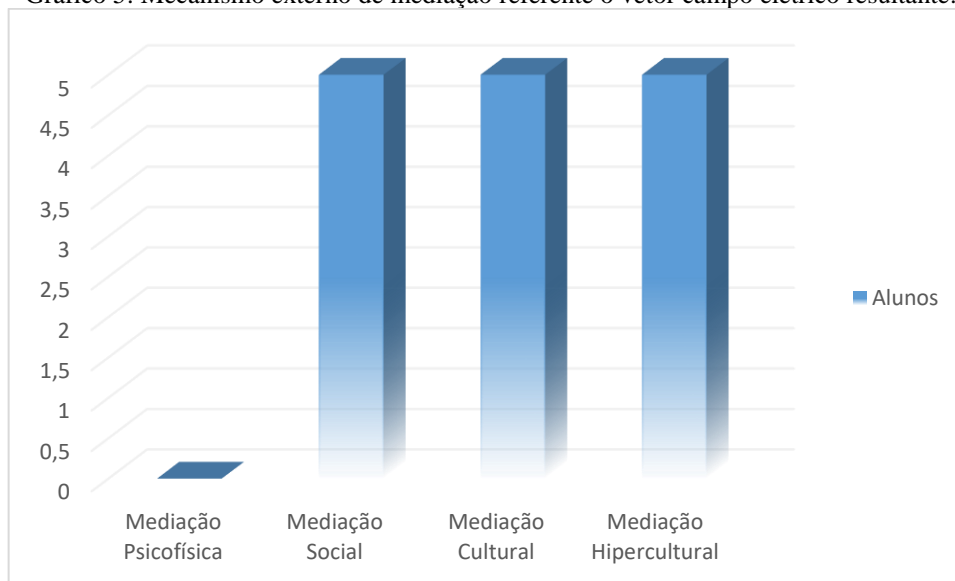
→ Os alunos 5, 6, 7, 8 e 9 apontaram evidências de modificações e/ou construções de imagens mentais e *drivers* a respeito da discussão do vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$ , ao longo do percurso acadêmico, apontando uma predominância nos cinco alunos do uso combinado do mecanismo externo de mediação social, cultural e hipercultural (Quadro 9 e Gráfico 5), para resolver uma situação-problema envolvendo a resultante do vetor campo elétrico, uma vez que essas mediações fornecem subsídios para as representações e *drivers* adquiridos referente aos cadernos, exercícios, aulas e à simulação computacional no GeoGebra. A TMC permite explicar a comunicação entre a estrutura cognitiva do sujeito e o mecanismo externo de processamento de informações mediante representações mentais. O cérebro cria competências específicas para comunicar-se com este mecanismo, propiciando a aquisição de conhecimentos (SOUZA, 2004).

Quadro 9: Índícios de mecanismo externo de mediação referente ao vetor campo elétrico resultante.

Situação-problema	Mecanismo externo de mediação Aluno 5	Mecanismo externo de mediação Aluna 6	Mecanismo externo de mediação Aluno 7	Mecanismo externo de mediação Aluna 8	Mecanismo externo de mediação Aluna 9
Vetor campo elétrico resultante	Social, Cultural e Hipercultural	Social, Cultural e Hipercultural	Social, Cultural e Hipercultural	Social, cultural e Hipercultural	Social, cultural e Hipercultural

Fonte: A pesquisa.

Gráfico 5: Mecanismo externo de mediação referente o vetor campo elétrico resultante.



Fonte: A pesquisa.

A partir das análises, consideramos que, para ocorrer o domínio de uma situação-problema de eletrostática em relação ao seu vetor campo elétrico resultante, é importante que haja a interação aluno-professor para a compreensão dos conceitos, sendo a simulação computacional mais atrativa na visualização dos vetores.

### 6.2.6 Força elétrica

A força gravitacional e a força eletrostática descrevem leis do tipo inverso do quadrado que contêm propriedade das partículas envolvidas, massa, em um caso, carga em um outro (HALLIDAY; RESNICK e WALKER, 2010).

#### Universal abstrato

- O estudo de força eletrostática e gravitacional advém da mediação social e cultural, e representações analógicas provêm da mediação hiper-cultural.

#### Universal concreto

- Os alunos 6 e 7 evidenciam a mediação social e cultural referente à força gravitacional em relação ao estudo em sala de aula, e conceitos construídos culturalmente como Terra, Cometa e E.T. A mediação hiper-cultural é apontada pela aluna 6, na comparação da força gravitacional e eletrostática.

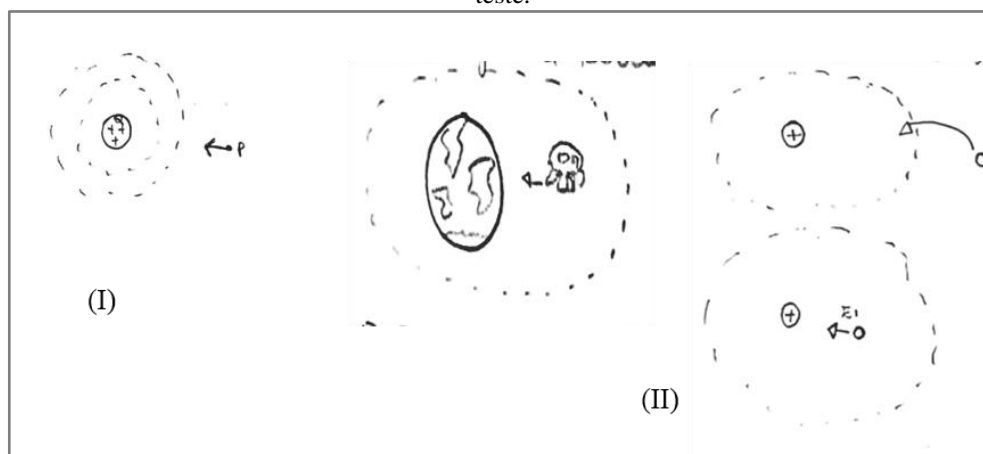
## Evidências

➔ No pré-teste (Figura 45I) e no pós-teste (Figura 45II), a aluna 6 representa, ao redor da carga, linhas pontilhadas que ela determina como sendo campo elétrico, e passa a associar com Força Gravitacional.

**Aluna 6:** [...] é o campo elétrico que pode partir de uma coisa, que qualquer um pode entender, que seria, por exemplo, a Terra. A Terra tem seu campo gravitacional (Figura 71I), por exemplo, assim, se está passando um cometa próximo da órbita da Terra, quando chegar perto, próximo demais, vai se sentir uma atração, e depois este cometa vai entrar em órbita e vai estar na Terra, então, qualquer coisa próxima da órbita da Terra vai sentir sua atração. Esta atração é o campo elétrico, porque a Terra tem campo gravitacional. Eu acho que isso é uma forma que qualquer pessoa pode entender. Assim como a Terra tem este campo em volta dela que atrai, as partículas pequeninhas dela também têm este campo. Então, quando uma partícula, no seu campo, algo chega próximo dela, vai ser tipo uma interferência sobre ela, ou de atração, ou de repulsão.

A aluna 6 adota a Força Gravitacional, utilizando uma imagem relacionada a um vídeo a que assistiu no YouTube. Certamente, está representação do campo elétrico, presente na estrutura cognitiva, não sofreu alteração durante a simulação computacional do GeoGebra, visto que, no pós-teste, também existe a presença do desenho, inclusive mais elaborado (Figura 72II). Provavelmente, a imagem gerada pela aluna 6 está de acordo com a figura 73, no qual ela descreve: “[...] é uma folha branca, e ele pega a canetinha e vai dizendo que, na verdade, este ponto é um valor que tem porque assim a carga vai influenciar tudo o que está perto dela, não é? Se está mais pertinho, mais longe [...]”.

Figura 72: (I) Aluna 6: Quarta situação-problema do pré-teste; (II) Aluna 6: Quarta situação-problema do pós-teste.



Fonte: A pesquisa.

Figura 73: Campo elétrico associado a um campo qualquer, ao campo gravitacional.



Fonte: ME SALVA! ELT15. Eletrostática - Campo Elétrico.

Ainda sobre a explicação da figura 72II, temos: “*pense no planeta Terra*” (Figura 74). “*Ele tem uma interação no espaço. No caso de um E.T chegar próximo, este sentirá esta interação, no caso, uma atração. Esta proximidade é o campo elétrico que a Terra tem*”. Identificamos, aí, a utilização de imagens culturais em relação ao planeta Terra, cometa e ao E.T, e hipercultural no que se refere ao vídeo.

A aluna 6, na continuação da explicação sobre campo elétrico, esclarece: “*este também é o caso de uma partícula. Ela possui à sua volta um campo elétrico e, quando outra partícula é colocada nesse espaço, ‘sente’ uma interação, podendo ser de atração ou repulsão.*”

Figura 74: Aluna 6: (I) Gesto #CG: Campo Gravitacional; (II) Gesto #CGA: Campo Gravitacional com Atração.



Fonte: A pesquisa.

(I) #CG: Campo gravitacional: com as duas mãos, a aluna representa que a Terra é redonda e que ao seu redor existe um campo gravitacional;

(II) #CGA: Campo Gravitacional com Atração: o campo gravitacional influencia quem se aproxima dele.

No entanto, por meio da mediação hipercultural com o GeoGebra, a aluna 6 esclarece que passou a ter a concepção a respeito da força eletrostática que age nas proximidades da carga: “[...] *quanto mais perto, maior o campo elétrico*”. Assim sendo, na sua explicação sobre o conceito do campo elétrico no pré-teste, aponta alguns equívocos:

**Aluna 6:** Eu coloquei que campo elétrico é uma região onde determinada carga está que interfere no estado de um ponto que venha a estar próximo, então, é uma carga que pode interferir no espaço e, se tem um ponto, vai sofrer está interferência. Aí, eu coloquei que a fórmula para encontrar o campo elétrico é  $E=(K.Q_1.Q_2)/r^2$  e que está, está carga constante, que vale  $9 \times 10^9$ , e que a  $Q_1$  e  $Q_2$  são duas cargas entre a carga e o ponto, e que a distância  $R$  é a distância entre elas.

A aluna esclarece, durante a entrevista, que a equação que utilizou no pré-teste não é de campo elétrico, mas, sim, da força eletrostática.

➡ O aluno 7 relata “*uma força que teria, uma força gravitacional*”, por ser uma força da gravidade, em razão de cada planeta possui uma massa, portanto, uma força de atração. Quando questionado sobre onde ele estudou, o estudante diz lembrar-se das aulas (mediação social) e das fórmulas e do quadro (mediação cultural). Onde a mediação social, por sua vez, é construída a partir da relação entre os indivíduos interação aluno-professor, e a mediação cultural a partir do compartilhamento da cultura de grupos maiores e duradouros, chega-se a uma superestrutura extracerebral que é capaz de realizar operações de percepção, memória, categorização e aprendizagem (SOUZA et al., 2012).

### Considerações

➡ Dos cinco alunos, apenas os alunos 6 e 7 (Quadro 10) fizeram referência à força elétrica relacionada à força gravitacional. Os demais não mencionaram nenhum relato. Os alunos 6 e 7

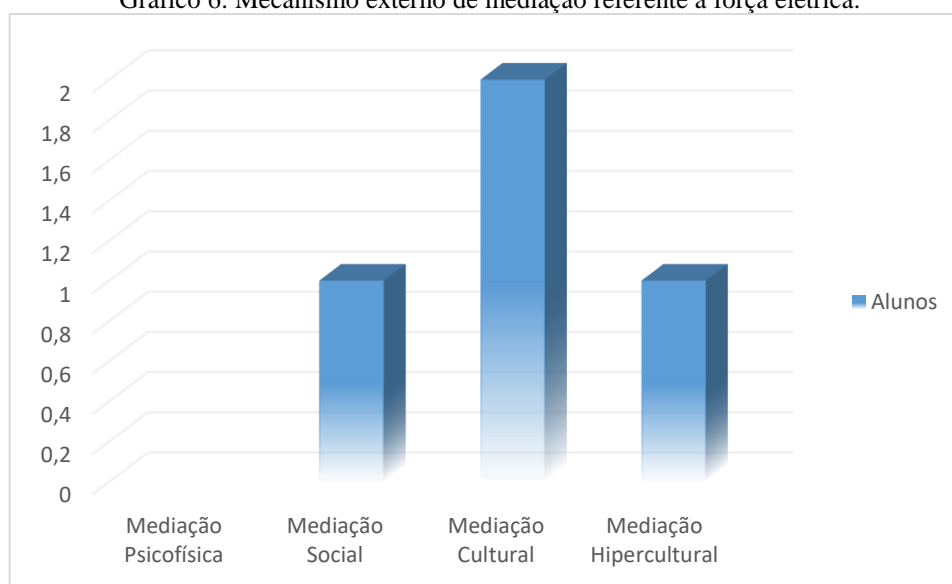
evidenciam o mecanismo externo de mediação cultural predominante em relação ao estudo em sala de aula e conceitos construídos culturalmente como Terra, Cometa e E.T. (Gráfico 6).

Quadro 10: Índícios de mecanismo externo de mediação referente Força elétrica.

Situação-problema	Mecanismo externo de mediação Aluno 5	Mecanismo externo de mediação Aluna 6	Mecanismo externo de mediação Aluno 7	Mecanismo externo de mediação Aluna 8	Mecanismo externo de mediação Aluna 9
Força elétrica	Não mencionam sobre a força gravitacional	Cultural e Hiper-cultural	Social e cultural	Não mencionam sobre a força gravitacional	Não mencionam sobre a força gravitacional

Fonte: A pesquisa.

Gráfico 6: Mecanismo externo de mediação referente a força elétrica.



Fonte: A pesquisa.

A atividade computacional no GeoGebra não explorava o conceito de força elétrica, dessa forma acreditamos ser esse o motivo pelos quais os demais alunos não mencionaram na produção dos dados.

### 6.2.7 Síntese das considerações dos Universais, Mecanismo externos de mediação envolvidos e Invariantes Operatórios

A seguir apresentamos três quadros sínteses referente as análises levantadas nestas pesquisa.



Quadro 11: Síntese dos universais abstratos e universais concretos.

<b>Situação-problema</b>	<b>Universal Abstrato</b>	<b>Universal Concreto</b>
<b>6.2.1 Carga elétrica</b>	O uso articulado da mediação psicofísica, cultural, social e hipercultural são importantes no estudo da carga elétrica. Contudo, as representações advindas da mediação psicofísica são frutos de analogias com objetos se movendo rapidamente no mundo macroscópico. Todos os relatos utilizam pelo menos duas mediações combinadas.	As alunas 6, 8 e 9 adquiriram suas representações de carga via mediação psicofísica. Essas alunas utilizam imagens mentais de objetos que se movem, tais como um caminhão, um bichinho e cargas imaginadas em um experimento. As representações dos alunos 5, 6, 7, 8 e 9 advêm da mediação social e cultural relacionadas à aula, ao conteúdo e ao livro. Para os alunos 5 e 6, a concepção de carga também provém da mediação hipercultural agregada a vídeos no YouTube e à simulação computacional.
<b>6.2.2 Linhas de campo elétrico</b>	A aprendizagem das linhas de campo elétrico sobressai pela influência da mediação social e cultural. Todavia, em dois alunos, a mediação hipercultural modificou a imagem mental.	Os alunos 5, 7, 8 e 9 apontam indícios de que a mediação social e cultural advinda da interação com o professor e materiais em sala de aula possibilita o entendimento sobre as linhas de campo elétrico. Os alunos 7 e 8 modificaram as representações após interação com a simulação GeoGebra, mediação hipercultural.
<b>6.2.3 Vetor campo elétrico</b>	A mediação hipercultural fornece a representação do vetor campo elétrico gerado pela carga elétrica. Entretanto, a mediação social e cultural advém da construção conceitual de vetor.	A mediação hipercultural é evidenciada pelos alunos 5, 6, 7, 8 e 9 em que a simulação computacional no GeoGebra propicia a visualização do vetor campo elétrico gerado por uma carga elétrica. A concepção de vetor no aluno 7 advém da mediação social e cultural correspondente ao estudo no colégio.
<b>6.2.4 Campo elétrico relacionado a distância</b>	A imagem mental que o campo elétrico varia com a distância é estabelecida pela mediação hipercultural.	Os alunos 5, 6, 7, 8 e 9 apropriam-se da mediação hipercultural advinda da simulação computacional para o entendimento da relação entre a distância e a intensidade do vetor campo elétrico.
<b>6.2.5 Vetor campo elétrico</b>	O uso combinado da mediação social, cultural e hipercultural fornece subsídios para determinar o campo elétrico resultante.	O aprendizado da resultante de um campo elétrico dos alunos 5, 6, 7, 8 e 9 envolve o uso combinado de diferentes representações e <i>drivers</i> adquiridos na mediação social referente às aulas, mediação cultural aos cadernos e exercícios e mediação hipercultural relacionada à simulação computacional no GeoGebra.
<b>6.2.6 Força elétrica</b>	O estudo de força eletrostática e gravitacional advém da mediação social e cultural, e representações analógicas provêm da mediação hipercultural.	Os alunos 6 e 7 evidenciam a mediação social e cultural referente à força gravitacional em relação ao estudo em sala de aula, e conceitos construídos culturalmente como Terra, Cometa e E.T. A mediação hipercultural é apontada pela aluna 6, na comparação da força gravitacional e eletrostática.

Fonte: A pesquisa.

Quadro 12: Síntese dos mecanismos externo de mediação que sobressaiu.

Situação-problema	Mecanismo externo de mediação Aluno 5	Mecanismo externo de mediação Aluna 6	Mecanismo externo de mediação Aluno 7	Mecanismo externo de mediação Aluna 8	Mecanismo externo de mediação Aluna 9	Mecanismo externo de mediação que sobressaiu em cada categoria	Mecanismo externo de mediação que sobressaiu no Campo Conceitual da Eletrostática
<b>6.2.1 Carga elétrica</b>	Social e hipercultural	Psicofísica, social, cultural e hipercultural	Social e cultural	Psicofísica e cultural	Psicofísica e social	Social	Social, cultural e hipercultural
<b>6.2.2 Linhas de campo elétrico</b>	Social e Cultural	Não modificou	Social, cultural e hipercultural	Social, cultural e hipercultural	Social e cultural	Social e cultural	
<b>6.2.3 Vetor campo elétrico</b>	Hipercultural	Hipercultural	Social e hipercultural	Hipercultural	Hipercultural	Hipercultural	
<b>6.2.4 Campo elétrico relacionado a distância</b>	Hipercultural	Hipercultural	Hipercultural	Hipercultural	Hipercultural	Hipercultural	
<b>6.2.5 Vetor campo elétrico resultante</b>	Social, cultural e hipercultural	Social, cultural e hipercultural	Social, cultural e hipercultural	Social, cultural e hipercultural	Social, cultural e hipercultural	Social, cultural e hipercultural	
<b>6.2.6 Força elétrica</b>	Não mencionam sobre a força gravitacional	Cultural e hipercultural	Social e cultural	Não mencionam sobre a força gravitacional	Não mencionam sobre a força gravitacional	Cultural	

Fonte: A pesquisa.

Quadro 12: Síntese dos Conceitos-em-ação e Teoremas-em-ação

IO	Aluno	Conceito-em-ação	Teorema-em-ação
Carga elétrica	Aluno 5	Carga está relacionada à um ponto com linhas de campo e considerações de conceitos de química.	Discurso verbal: cargas podem ser positivas, negativas ou nulas, a positiva doa e a negativa recebe, e a nula tem o mesmo número de cátions e íons. Discurso verbogestual: cargas podem ser positivas – cujas linhas de campo se dirigem para fora da carga – podem ser negativas – com linhas de campo que se dirigem para dentro da carga – ou nulas, com mesmo número iônico.
	Aluna 6	Carga tem um número associado à massa, tal qual objetos macroscópicos apresentam, e que é movimentada no espaço. Carga, para ela é efetivamente um caminhão que transporta uma massa (embora minúscula).	Cargas são transportadas tal qual, massas são transportadas por uma distância.
	Aluno 7	As cargas provocam a eletrização por meio de eletricidade estática, visualmente associando a minúsculos sinais de carga em volta de objetos macroscópicos, tal como expostos em livros didáticos no conteúdo de eletricidade estática.	Cargas iguais não interagem (contextualmente visto na sua entrevista referindo-se a linhas de campo elétrico que não se conectam) e cargas contrárias interagem (linhas de campo entre cargas contrárias).
	Aluna 8	Carga elétrica é um “bichinho” ou um “portador de carga”, muito pequeno.	Cargas produzem campos elétricos.
	Aluna 9	Processo de eletrização.	Cargas estarem presentes no processo.
	Vetor campo elétrico resultante	Aluno 5	Associado ao vetor.
Aluna 6		Vetores no espaço, tal qual visto no <i>software</i> GeoGebra, efetivamente “flechinhas”.	O vetor campo elétrico é produzido por cargas e sua direção, sentido e intensidade estão relacionados à carga da mesma, apresentando atração ou repulsão. O campo elétrico resultante em um ponto é obtido a partir do “diagrama de corpo livre (na realidade a regra do paralelogramo).
Aluno 7		O vetor como “flechinhas”, em forma muito semelhante à Aluna 6.	Associado a lei do paralelogramo que determina o campo resultante.
Aluna 8		É um vetor intermediário entre os dois vetores somados.	O vetor resultante de duas cargas de mesmo sinal é obtido como vetor intermediário entre dois vetores, considerando-se a carga individual de cada um deles e a distância ao ponto de cálculo; O vetor resultante de duas cargas com sinal contrário está ao longo do vetor campo elétrico de apenas uma delas.
Aluna 9		Refere-se as setas, tal qual originada em mediação social (aulas de matemática de seu curso de matemática anterior) e reforçadas pela mediação hipercultural (GeoGebra) de forma semelhante aos alunos 6 e 7.	Associado a regra do paralelogramo.

As diferentes fontes de evidências produzidas nesta pesquisa levaram-nos a diversas informações sobre as mediações cognitivas de cada aluno, possibilitando detectar indícios de representações, *drivers* e imagens mentais adquiridos ou alterados após a simulação computacional de eletrostática. Dessa forma, os três quadros síntese estão interligados, uma vez que eles apontam as análises realizadas ao longo desta investigação, embasada na metodologia descrita no Capítulo 5.

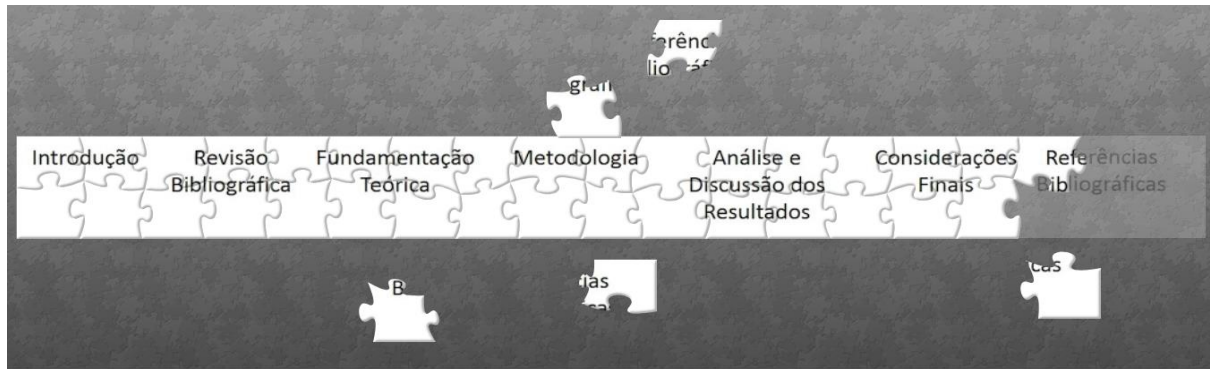
O quadro 11 indica as discussões dos universais mediante hipóteses geradas durante o processo investigativo, em que os universais abstratos englobam as sínteses dos mecanismos externos de mediações e os Invariantes Operatórios de cada situação-problema analisada no campo conceitual da eletrostática.

Já os universais concretos estão focados no individual de cada aluno, indicando como eles internalizam os conceitos de eletrostática ao longo da vida acadêmica, ou seja, através do livro didático, internet, exercícios, vídeos e quadro-negro. Confirmando que enquanto professores temos que planejar aulas com diferentes metodologias para contemplar esses alunos.

Ressaltando, como apontado no quadro 12, os conceitos de carga elétrica, linhas de campo elétrico e vetor campo elétrico, a interação aluno-professor é importante, isto é, mediação social e cultural. Já para os conceitos de vetor campo elétrico e campo elétrico relacionado à distância, existem fortes indícios da interação hipercultural, quer dizer, o contato com a simulação computacional apresentou-se mais eficaz na aprendizagem de vetores.

O quadro 13 mostra a síntese em relação aos conceitos-em-ação e teoremas-em-ação de carga elétrica e vetor campo elétrico resultante, justificando novamente nossa concepção de que, para cada situação-problema analisada, cada aluno utiliza diferentes representações mentais e *drivers* para explicá-la.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS



Fonte: A pesquisa.

Nosso objetivo era investigar quais mecanismos externos de mediação o aluno utiliza como suporte para resolver situações-problema de eletrostática e a relação entre elas. Para alcançar esse objetivo, buscou-se encontrar respostas para a seguinte questão norteadora da pesquisa: Como os mecanismos externos de mediação e as situações-problema se entrelaçam quando um aluno progride no domínio do campo conceitual ao resolver um problema de eletrostática?

No entanto, para respondê-la, fez-se necessário, primeiramente, responder à questão: Os alunos do ensino superior apresentaram evidências de modificação e/ou construção de imagens mentais e *drivers*<sup>19</sup> acerca do conceito de campo elétrico durante a trajetória acadêmica?

Nossa análise constituiu-se na discussão sobre o conceito de carga elétrica e campo elétrico, juntamente com suas peculiaridades que foram surgindo nas análises, separadas, primeiramente, do experimento piloto, no qual os quatro alunos evidenciaram imagens mentais e *drivers* ligados diretamente ao professor, ou seja, oriundos da interação social que eles tiveram com os seus respectivos professores em sala de aula.

E, posteriormente, com o experimento definitivo, foram analisados por meio da exploração das situações-problema, no qual elas se entrelaçaram com os mecanismo externos de mediação no domínio do campo conceitual da eletrostática apontando que a interação social era importante, mas descobrimos que as mediações psicofísica, cultural e hipercultural dependiam da situação-problema específica analisada, sendo que a mediação que se sobressaiu foi a mediação social, cultural e hipercultural.

A revisão bibliográfica abriu-nos uma gama de possibilidades acerca das dificuldades enfrentadas pelos alunos em sala de aula, relacionadas aos conceitos de carga, campo elétrico e força eletrostática em relação ao pouco conhecimento das ferramentas matemáticas, a falta de compreensão de magnitude de campo e representações gráficas, fornecendo subsídios para esta pesquisa na busca de situações-problemas que dessem conta de sanar essas dificuldades na aprendizagem dos alunos.

Na revisão, também observamos os recursos computacionais utilizados na tentativa de auxiliar o estudo da eletrostática em sala de aula com o intuito de discutir e contribuir no Ensino de Física, especificamente de Eletrostática, por intermédio da

---

<sup>19</sup> “*Drivers*” são apresentados pela Teoria da Mediação Cognitiva como “máquinas virtuais” internas, armazenando informações através da sua interação com mecanismos externos, os *drivers* são acessados pelo cérebro.

utilização adequada de simulações computacionais, sendo um instrumento motivador e facilitador da aprendizagem.

O GeoGebra, utilizado nesta pesquisa, revelou-se um excelente recurso computacional, sendo adequado para atingir o objetivo deste trabalho, proporcionando uma ferramenta eficaz na visualização e na correta compreensão dos conceitos envolvidos de vetor campo elétrico resultante, permitindo analisar e conjecturar estabelecendo hipóteses contribuindo para o aluno na ampliação seus conhecimentos.

E a interpretação dos gestos forneceu informações que não foram identificadas apenas por intermédio da fala, uma vez que constatamos nas análises a importância da associação gestual e verbal na transmissão de informações, sendo que através da gesticulação foi viável analisar as ações exteriorizadas pelos alunos em relação aos conceitos de carga elétrica, linhas de campo elétrico, vetor campo elétrico, vetor campo elétrico resultante e força elétrica.

A utilização de imagens mentais foram apontadas nas análises dos cinco alunos através de fortes indícios das informações subtendidas na memória, sendo formas de representações mentais em que os alunos utilizaram para representar internamente o mundo externo, sendo que as pessoas não captam o mundo exterior diretamente, mas sim constroem representações mentais.

Sendo assim, as Teorias Construtivistas da Mediação Cognitiva e dos Campos Conceituais se mostraram eficazes para o estudo sobre a Eletrostática, cuja ligação entre as teorias está nas relações dinâmicas entre os elementos que compõem o espaço das suas interações com o ambiente. Em que o vínculo das teorias está em um conceito que não se forma dentro de um só tipo de situação, e os alunos, quando questionados nas entrevistas, relataram diversas mediações em uma situação, fazendo integração entre as partes e apontando uma construção do campo conceitual da Eletrostática. Os mecanismos externos de mediação (TMC) entrelaçam-se com as situações-problema (TCC) nas variadas situações em que um conceito se torna significativo, o sentido não está nas palavras nem nos símbolos, mas nas relações que os alunos fazem.

A metodologia utilizada foi o estudo de caso, em relação às evidências e aos três princípios para a produção de dados, como o pré-teste, a atividade no GeoGebra com o guia de atividade, pós-teste e entrevistas. A escolha da técnica *Report Aloud* possibilitou a detecção das mudanças das imagens mentais e *drivers* existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Utilizamos a discussão dos universais abstratos e universais concretos a

respeito das hipóteses da investigação levantadas em cada categoria de análise. E os Invariantes Operatórios discutindo os teoremas-em-ação e conceitos-em-ação de cada categoria e dos cinco alunos analisados.

Na análise sobre a carga elétrica, sabendo que a intensidade das interações elétricas de uma partícula depende da carga elétrica, concluímos que o uso articulado dos mecanismos externos de mediação psicofísico, cultural, social e hipercultural revelou-se importante, porém a mediação social sobressaiu-se na aprendizagem do conceito de carga elétrica, apontada por quatro alunos.

Na discussão da linha de campo elétrico, sendo usadas visualizar a orientação e a intensidade dos campos elétricos, concluímos que o mecanismo externo de mediação que se sobressaiu em quatro alunos foi a mediação social e cultural, levando a concluir que a aprendizagem ocorreu por intermédio da interação com o professor e materiais em sala de aula.

Na discussão do vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , determinado que vetor campo elétrico, em qualquer ponto do espaço, é tangente à linha de campo elétrico que passa por esse ponto, concluímos que os cinco alunos apontaram indícios preponderantes dos mecanismos externos de mediação hipercultural predominante na modificação e/ou nas construções das imagens mentais associadas ao GeoGebra. Onde, o mecanismo de processamento extracerebral proporcionou condições para esses alunos pudessem utilizar as capacidades cerebrais refletindo acerca das informações apresentadas por intermédio da Simulação Computacional no GeoGebra.

Na análise do campo elétrico em relação a distância a partir do campo elétrico produzido por uma carga varia com a distância, observamos os mecanismos externos de mediação hipercultural predominante por meio da simulação computacional no GeoGebra. Os gestos feitos pelo aluno 5, aluna 6, aluno 7, aluna 8 e aluna 9 referem-se as imagens mentais e *drivers* devido a utilização da Simulação Computacional no GeoGebra, ou seja, imagens mentais com origem em uma mediação digital. E acreditamos serem estes gestos indícios da aquisição de novos *drivers* pelos estudantes e que estes 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.

Na discussão do vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{RES}$ , onde é uma soma vetorial exercida por todas as cargas, concluímos que os cinco alunos apontaram que o uso



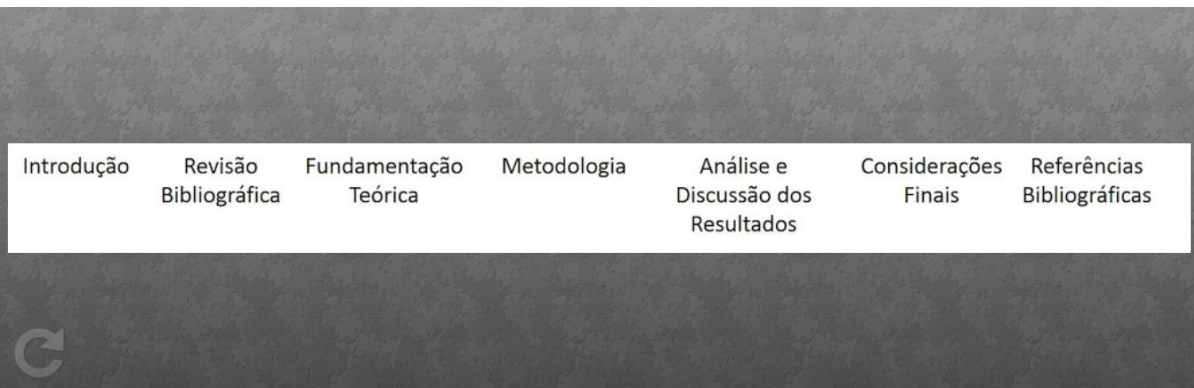
combinado do mecanismo externo da mediação social, cultural e hipercultural fornece subsídios para as representações e *drivers* adquiridos referente aos cadernos, exercícios, aulas e à simulação computacional no GeoGebra. As simulações computacionais atuaram como mediadores hiperculturais, com a finalidade de criar novas representações mentais (teoremas-em-ação) e *drivers* no cognitivo do indivíduo, proporcionando uma aprendizagem dos conceitos abordados.

Na discussão da força elétrica, sendo exercida por uma carga sobre outra é uma força de ação à distância, similar a força gravitacional exercida por uma massa sobre a outra, concluímos que à força gravitacional, o mecanismo externo de mediação cultural em relação aos conceitos construídos culturalmente se sobressaiu. Onde a mediação social, por sua vez, é construída a partir da relação entre os indivíduos interação aluno-professor, e a mediação cultural a partir do compartilhamento da cultura de grupos maiores e duradouros, chega-se a uma superestrutura extracerebral que é capaz de realizar operações de percepção, memória, categorização e aprendizagem.

Por fim, respondendo: Como os mecanismos externos de mediação e as situações-problema se entrelaçam quando um aluno progride no domínio do campo conceitual ao resolver um problema de eletrostática? Apontamos que os mecanismo externos de mediações dependiam da situação-problema específica analisada, sendo que as mediações que se sobressaíram após todas as discussões foram a mediação social, cultural e hipercultural no campo conceitual da Eletrostática. Portanto, é necessário o estudo combinado dessas mediações, na construção do conhecimento na Eletrostática.

Dentro desta perspectiva, este trabalho avança a discussão sobre o Ensino de Física por meio de dispositivos hiperculturais e se torna um contraponto, com o intuito de ampliar a discussão referente aos conceitos de Eletrostática, em que a presença do professor em sala de aula é importante, e a utilização de recursos computacionais auxilia na visualização de elementos complexos e na movimentação, permitindo que o aluno analise, conjecture e estabeleça hipóteses.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



Fonte: A pesquisa.

- ANDERSON, J. R. Arguments concerning representations for mental imagery. **Psychological Review**, v. 85, n. 4, p. 249, 1978.
- ARAUJO, I.; MOREIRA, M; VEIT, E. Simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss para eletricidade e de Lei de Ampère em nível de Física Geral. **Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias**. 6(3) p. 601-629. 2007.
- ARAUJO, I. S.; VEIT, E. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)**. v. 4, n. 3, 2004.
- ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Interatividade em recursos computacionais aplicados ao ensino aprendizagem de Física. In: Gonçalves, R. de A.; Oliveira, J. S. de; Rivas, M. A. C. (Orgs.). **A Educação na Sociedade dos Meios Virtuais**. Santa Maria: Centro Universitário Franciscano. p. 129-140, 2008.
- ARZARELLO, F.; PAOLA, D.; ROBUTTI, O.; SABENA, C.. Gestures as semiotic resources in the mathematics classroom. **Educational Studies in Mathematics**. vol. 70, n. 2, pp. 97-109. 2009.
- BARBOSA, A; SILVA, B.; NUNES, C.; GARCIA, C.; COSTA, I.; BAPTISTA, M.. O uso de *softwares* educativos no ensino da Matemática. In: **X Encontro Nacional de Educação Matemática – ENEM**. Salvador: jul. 2010. Disponível em: Acesso em: 28 mar. 2017.
- BASER, M.; GEBAN, O. Effect of instruction based on conceptual change activities on students' understanding of static electricity concepts. **Research in Science & Technological Education**. v. 25, 2. ed., 2007.
- BOSS, S. L. B.; SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. Fontes primárias e aprendizagem significativa: aquisição de subsunçoes para a aprendizagem do conceito de carga elétrica. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, VII., 2009, Florianópolis. Anais eletrônicos. Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009.
- BRASIL. Rio Grande do Sul. **Referenciais Curriculares do Estado do Rio Grande do Sul: Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Porto Alegre: SE/DP, 2009.
- BRITO, E.. **Entenda o que são drivers, para que servem e como instalá-los**. 2013. Disponível em: < <http://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2013/06/entenda-que-sao-drivers-para-que-servem-e-como-instala-los.html>> Acesso em: 03 mar. 2017.
- CAO, Y.; BRIZUELA, B. High school students' representations and understandings of electric fields. **Physical Review Physics Education Research**. 12, 020102. 2016.
- CARMO, R. do. **O GeoGebra no Ensino de Física: Propostas de Aplicação para o Ensino do Movimento Harmônico Simples**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba. 94 f. 2017.

- CASPERSON, J. M.; LINN, M. C. Using visualizations to teach electrostatics. **American Journal of Physics**, 74(4), p. 316–323, 2006.
- CASTRO, S. C. **Os vetores do plano e do espaço e os registros de representação.** Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. 2001.
- CLEMENT, J.J.; STEINBERG, M. S. Evolution of Mental Models of Electric Circuits - A learning-aloud case study. **The Journal of Learning Sciences**, v. 11, n. 4, p. 389-452, 2002.
- 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, p. 20122-1-20122-15, 2010.
- CRIADO, A.; GARCIA, C. Prospective teachers difficulties in interpreting elementary phenomena of Electrostatic interactions: indicators of the status of their intuitive ideas. **International Journal of Science Education**, 32(6), p. 769-805. 2010
- DALL'ALBA, C; KAIBER, C. Possibilidade de utilização do *software* GeoGebra no desenvolvimento do pensamento geométrico no sexto ano do Ensino Fundamental. **Educação Matemática em Revista**. RS. Ano 16, n. 16, v. 2. p. 67-81, 2015.
- DORI, Y; BELCHER J. How Does Technology-Enabled Active Learning Affect Undergraduate Students' Understanding of Electromagnetism Concepts?. **The Journal of the Learning Sciences**. v. 14, 2. ed., 2005.
- ERICKSON, F. Qualitative methods in research on teaching. In M. C. Wittrock, **Handbook of research on teaching**. New York: MacMillan, p. 162-213. 1986.
- ERICKSON, F. Qualitative research methods of Science Education. In: FRASER, B.; TOBIN, K. G. **International Handbook of Science Education**. London: Kluber Academic Publishers, p. 1155-1173. 1998.
- FINKELSTEIN, N. D.; ADAMS, W. K.; KELLER, C. J.; KOHL, P. B.; PERKINS, K. K.; PODOLEFSKY, N. S.; LEMASTER, R.. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. **Physical Review Physics Education Research**. 1, 010103 (2005).
- FIOLHAS, C.; TRINDADE, J. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das Ciências Físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 25, n. 3, p. 259-272, set. 2003.
- FLOOD, V. J.; AMAR, F. G.; NEMIROVSKY, R.; HARRER, B. W.; BRUCE, M. R.; WITTMANN, M. C.. Paying attention to gesture when students talk chemistry: Interactional resources for responsive teaching. **Journal of Chemical Education**, vol. 92, n.1, pp. 11-22. 2014.

FRANÇA, M. V.de. **Conceitos fundamentais de Álgebra Linear: Uma abordagem integrando Geometria Dinâmica**. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. 2007.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J; ALMUDÍ, M; CEBERIO, M... Learning the electric field concept as oriented reserarch activity. **Science & Education**. p. 640-662, 2002.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 3, p. 441-452, 1999.

FURIÓ C.; GUIASOLA J.. Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de Bachillerato y Universidad. **Enseñanza de Las Ciencias**. 16(1), p. 131-146, 1998.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J.. La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. **Enseñanza de Las Ciencias**. 19(2), pp. 319-334, 2001.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J.; ALMUDÍ, M.. Elementary Electrostatic Phenomena: Historical Hindrances and Students' Difficulties. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*. 4(3), p. 291-313, 2004.

GAGNON, M.. The use of computer-simulated trajectories to teach real particle flight. **Phisics Education**. 2011.

GARCIA, N. Livro didático de Física e de Ciências: contribuições das pesquisas para a transformação do ensino. **Educar em Revista**, Curitiba, Brasil, n. 44, p. 145-163, abr./jun. 2012.

GIRE, E. Arrows as anchors: An analysis of the material features of electric field vector arrows. **Physical review special topics**. 10, 020112, 2014.

GRECA, I. M. R. **Construindo Significados em Mecânica Quântica: resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de Física Geral**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2000. 284 p.

GUIASOLA, J.; ZUBIMENDI, J.; ALMUDÍ, J.; CEBERIO, M.. Dificultades persistentes en el aprendizaje de la electricidad: Estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de carga eléctrica. **Enseñanza de Las ciencias**. 26(2), p. 177-192, 2008.

GUIASOLA, J; FURIÓ, C.. Difficulties in Learning the Concept of Electric Field. **Science & Education**, 1998.

GUPTA, A.; HAMMER, D.; REDISH, E. The case for dynamic models of learners' ontologies in physics. **Journal of Learning Sciences**. v. 19, 3. ed., 2010.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo**. Jearl Walker: tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC. 2010.

HANC, J; LUKAC, S; SEKERAK, J; SVEDA, J. GeoGebra - a complex digital tool for highly effective math and science teaching. **ICETA International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications**. October p. 27-28, 2011.

JENSKE, G.. **A Teoria de Gérard Vergnaud como aporte para a superação da defasagem de aprendizagem de conteúdos básicos da matemática: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Matemática – Faculdade de Física-PUCRS. Porto Alegre, 2011.

KARRER, M.. **Articulação entre Álgebra Linear e Geometria: um estudo sobre as transformações lineares na perspectiva dos registros de representação semiótica**. Tese (Doutorado em Educação Matemática) da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. 2006.

KIM, M.; ROTH, W-M.; THOM, J. Children's gestures and the embodied knowledge of geometry. **International Journal of Science and Mathematics Education**. Dordrecht, v. 9, n. 1, p. 207-238. 2011.

KNEUBIL, F. RICARDO, E. A relevância do Ensino sobre a ciência: Relato de uma experiência em um curso universitário de eletromagnetismo. **Experiências em Ensino de Ciências**. v. 9, nº. 2. 2014.

LABURU, C.; SILVA, O.; ZÔMPERO, A. Significados de eletrostática interpretados por meio da gesticulação de estudantes. **Ciência e Educação (Bauru)**. v.21 n.4 Bauru. 2015.

LAGRECA, M. do C. B.. **Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de física geral na área de mecânica clássica e possíveis modelos mentais nessa área**. 1997. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 1997.

Lei Anti Fumo nº 12.546/2011. Disponível em:  
<<http://portalarquivos.saude.gov.br/campanhas/leiantifumo/index.html>> Acesso em: 20 jan. 2017.

LOPEZ, E; SILVA, R. Transformación de los modelos mentales sobre los conceptos de fuerza y campo eléctrico mediante la metodología WebQuest, en estudiantes universitarios de Ingeniería. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 2-31, 2015.

MALONEY, D. P.; O’KUMA, T. L.; HIEGGELKE, C. J.; VAN HEUVELEN, A.. Surveying students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism. **American Journal of Physics**. 69, s12. 2001.

MARQUES, T.. **A noção de campo elétrico: reflexões de uma futura professora sobre o processo de ensino**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas Campus de Rio Claro. 2013.

MARTIN, J.; SOLBES, J.. Diseño y evolución de una propuesta para la enseñanza del concepto de campo en Física. **Enseñanza de las ciencias**, v. 19, n. 3, p. 393-403, 2001.

MASETTO, M. T. **Competência pedagógica do professor universitário**. São Paulo: Sumus. 2003.

MEDEIROS, M. F. **Geometria dinâmica no ensino de transformações no plano**. Dissertação de Mestrado, Porto Alegre: UFRGS, 2012.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, Junho, 2002.

MEGGIOLARO, G.; CUNHA, L.; SERRANO, A. A relação entre as formas de mediação, na perspectiva da TMC, e a compreensão do conceito de carga elétrica. **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis, SC. 3 a 6 de julho de 2017.

MEGGIOLARO, G.; ANDRADE NETO, A. Qual mediação sobressai no aprendizado de soma vetorial? Uma investigação no ensino de campo elétrico em física. **Educação Matemática em Revista**. Canoas n. 18. p. 154 -165, 2017.

MELLO, K; SILVA, R. Uma experiência sobre o ensino e aprendizagem de vetores no IFRS com o auxílio do GeoGebra. **Cadernos do Aplicação**, Porto Alegre, v. 25, n. 1, jan./jun. 2012.

ME SALVA! ELT15. Eletrostática - Campo Elétrico. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=qRtq7b4OxkU>> Acesso em: 20 nov. 2017.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise Textual Discursiva**. Ijuí: Editora Unijuí, 2007.

MOREIRA, M. A. Modelos mentais. **Investigações em ensino de ciências**, v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.

MOREIRA, A. M. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 7, p. 7-29, 2002.

MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J.J. Use of a computer simulation to develop mental situations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**. v. 21, n. 9, p. 921-944. 1999.

NEHRING, C.; RONCAGLIO, V. Entendimentos do conceito de vetor por estudantes de engenharia. **VIDYA**, v. 35, n. 2, p. 197-214, jul./dez. 2015.

OTERO, M. R. El uso de imágenes en la educación en ciencias como campo de investigación. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 17, n. 1, p. 09-22, 2004.

PANTOJA, G. **Abordagem didática do conceito de campo eletromagnético usando unidades de Ensino Potencialmente Significativas a partir das equações de Maxwell**: Influências na aprendizagem de alunos de graduação e uma proposta inicial de um campo conceitual para o conceito de campo eletromagnético em nível de Física Geral. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS. 2015.

PARISOTO, M. F. **O ensino de conceitos do eletromagnetismo, óptica, ondas e Física moderna e contemporânea através de situações na Medicina.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PARK, J.; KIM, I.; KIM, M.; LEE, M. Analysis of students' process of confirmation and falsification of their prior ideas about electrostatics. **International Journal of Science Education.** 23(12), p. 1219-1236. 2001.

PERIAGO, M.; BOHIGAS, X. A study of second-year engineering students' alternative conceptions about electric potential, current intensity and Ohm's law. **European Journal of Engineering Education.** v.30, 1.ed, 2005.

PLAISANCE, E.; VERGNAUD, G. **As Ciências Da Educação.** São Paulo: Loyola. 2003.

POCOVI, C.; FINLEY, F. Historical Evolution of the Field View and Textbook Accounts. **Science & Education.** 12: 387–396, 2003.

RAMOS, A. F. **Estudo do Processo de Internalização de Conceitos de Química Utilizando Software de Modelagem Molecular: Uma proposta para o ensino médio e superior.** 2015. 230 f. Tese (Doutorado - Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2015.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MARTINS, T. L.C.; SOUZA, B. C.. Uso de um *software* de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica: um estudo de caso baseado na teoria de mediação cognitiva. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 1, p. 18–34, 2010.

Resistência e Corrente. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/50982/>> Acesso em: 18 fev. 2016.

ROCHA, J.; ANDRADE NETO, A. Um Estudo de Caso Exploratório sobre a Internalização de Conceitos sobre Eletrostática: A influência da Hipercultura e Mediação Digital. **Revista Novas Tecnologias na Educação - RENOTE.** v. 11 n. 3, dezembro, 2013.

ROTH, W. M.. Gestures: Their role in teaching and learning. **Review of Educational Research.** vol. 71, no. 3, pp. 365-392. 2001.

SAARELAINEN, M., LAAKSONEN, A., HIRVONEN, P.. Student's initial knowledge of electric and magnetic fields – more profound explanations and reasoning models for undesired conceptions. **European Journal of Physics.** . 28, 51-60. 2007.

SAGLAM, M.; MILLAR, R. Upper High School Students' Understanding of Electromagnetism. **International Journal of Science Education.** 28, 543. 2006.

SAMSUDIN, A.; SUHANDI, A.; RUSDIANA, D.; KANIAWATI, I.; COŞTU, B.. Investigating the effectiveness of an active learning based-interactive conceptual instruction (ALBICI) on electric field concept. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching.** EdUHK APFSLT. Volume 17, Issue 1, Article 1. Jun.. 2016.



SANTOS, A. V.; SANTOS, S. R.; FRAGA, Luciane M. Sistema de Realidade Virtual para Simulação e Visualização de Cargas Pontuais Discretas e seu Campo Elétrico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, Junho, 2002.

SERAFIM, M. L.; SOUZA, R. Multimídia na educação: o vídeo digital integrado ao contexto escolar. 2011. Disponível em: <<https://static.scielo.org/scielobooks/6pdyn/pdf/sousa-9788578791247.pdf>> Acesso em: 25 jan. 2018.

SERWAY, R. JEWETT, J. **Princípios de física: eletromagnetismo**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

SHEN, J.; LINN, M. A Technology-Enhanced Unit of Modeling Static Electricity: Integrating scientific explanations and everyday observations. **International Journal of Science Education**. v. 33, n. 12, 1, p. 1597–1623, 2011.

SILVA, A. Eletrização. InfoEscola. Disponível em: <https://www.infoescola.com/eletrostatica/eletrizacao/> Acesso em: 17 junho 2018.

SIMON, I.; DALCIN, A. Fotografia e GeoGebra em aulas de Matemática em uma escola do Campo. **Educação Matemática em Revista – RS**. Ano 17, n. 17, v. 2, p. 85-97, 2016.

SOUZA, B. C. **A Teoria da mediação cognitiva: os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital**. Tese (Doutorado em Psicologia Cognitiva), Programa de Pós-graduação em Psicologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

SOUZA, B. C. A teoria da mediação cognitiva. In: MEIRA, L.; SPINILLO, A. (Org.). **Psicologia cognitiva: cultura, desenvolvimento e aprendizagem**. Recife: Ed. UFPE, 2006.

SOUZA, R.; GARCIA, P.; MARINHO, V.; MOURAZ, A. Visualization of electric field lines in na engineering education contexto. **International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE)**. 2013.

SOUZA, B. C.; LULA, A. M.; MOURA, A. L. N. O papel da hipercultura na atividade de consultoria: um estudo com consultores na Região Metropolitana do Recife. In: **XXXVI Encontro da ANPAD**. Anais. Rio de Janeiro, 2012.

SOUZA, B.; ROAZZI, A. Hipercultura e inteligência. In: A. ARAUJO, Candeias L. S. Almeida. (Org.). **Inteligência humana: investigação e aplicações**. 1ed. Évora: Quarteto, v. 1, p. 97-114, 2007.

SOUZA, B.; ROAZZI, A..Testing the robustness of the hyperculture concept. In A. Cohen (Org.), **Facet theory and scaling in the search of structure in behavioral and social sciences**, p. 37–56. Jerusalém: Facet Theory Press, 2009.

TAO, P. K.; GUNSTONE, R. F. A process of conceptual change in force and motion during computer-supported Physics instruction. **Journal of Research in Science Teaching**, v.37, n. 2, p. 859-882, 1999.

TIPLER, P. MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

TREVISAN; R. **O estudo da relação entre as imagens mentais utilizadas por estudantes de mecânica quântica e seu perfil epistemológico: uma investigação pela metodologia Report Aloud**. 2016. 143f. Dissertação (Mestrado) - Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2016.

TREVISAN, R.; ANDRADE NETO, A. S. ; WOLFF, J. F. S. ; RAMOS, A. F. . Peeking into their minds: the Report Aloud technique as a means of identifying student's mental imagery. **Ciência e Educação** (UNESP), 2019.

VAN-SOMEREN, M. W.; BARNARD, Y. F.; SANDBERG, J. A. C. The Think Aloud Method: a practical guide to modeling cognitive processes. **Academic Press**. London, 1994.

VELOSO; M. S. O. **Uma investigação do processo de (re)construção de conceitos de Física em atividades experimentais em cursos de Física a distância**. 2017. 206f. Tese (Doutorado)- Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2017.

VENTURI, J. J., **Álgebra Vetorial e Geometria Analítica**. 10. ed. Curitiba, PR. 2015.

VERGNAUD, G.. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. **A cognitive perspective**. Hillsdale, N.J.. p. 39-59, 1982.

VERGNAUD, G.. A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. **Revista do GEMPA**, Porto Alegre, nº 4. p. 9-19, 1996.

VERGNAUD, G..Education: the best part of Piaget's heritage. **Swiss Journal of Psychology**. p. 112-118, 1996a.

VERGNAUD, G. La théorie de champs conceptuels. **Recherches em Didactique de Mathématiques**. Grenoble: La Pensée Sauvage. v. 10. 1990.

VERGNAUD, G.. Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives. Atelier International d'Eté: **Récherche en Didactique de la Physique**. La Londe les Maures. 1983.

VERGNAUD, G..Teoria dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) Anais do **1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro**. p.1-26, 1993.

VERGNAUD, G. Pourquoi la théorie des champs conceptuels? Infancia y Aprendizaje. p. 131-161, 2013.

WEISS, J. M.; ANDRADE NETO, A. S. Uma investigação a respeito da utilização de simulação computacionais no ensino de eletrostática. **Experiências em Ensino de Ciências**, v1(1), p.43-54, 2006.

WOLFF, J. F. S. **As modificações de *drivers* prévios através da utilização de simulações computacionais: aprendizagem significativa dos conceitos de colisões verificadas através da análise das imagens mentais de estudantes universitários.** 2015. 260 f. Tese (Doutorado) - Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2015.

WU, H.; KRAJCIK, J. S.; SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, 38(7), p. 821–842, 2001.

YIN; R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman. 2001.

ZACHARIAS; Z. C. ANDERSON, R. The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics. **American Journal of Physics**, 71(6), 5p. 19-640, 2003.

## GLOSSÁRIO

**Ambiente:** abrange processos mediativos, fornecimento de pressupostos que dão sentido a compressão de dados, filtragem de ruído, correção de erros e processamento auxiliar (I/O, Memória, Operações lógicas). O ambiente também é encarado como sendo um campo de experiências e o mundo dentro do qual é preciso obter sobrevivência e bem-estar (SOUZA, 2004).

**Cérebro:** garante a mediação cognitiva com um mecanismo externo, formula novas competências específicas que permitem a comunicação (SOUZA, 2004).

**Conceito:** Vergnaud considera ser um conceito um triplete de  $C=(S,I,R)$ . Onde S é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito; I é um conjunto de invariantes (objetos, propriedades e relações) e R é um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) (VERGNAUD, 1990).

**Drivers:** são considerados como mecanismos internos presentes na estrutura cognitiva do indivíduo que possibilitam a utilização de mecanismos externos. Portanto, os *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 (SOUZA, 2004).

**Esquema:** depende de cada situação em particular, ele pode gerar diferentes sequências de ações, coleta de informações e de controle, ou seja, ele não é único (VERGNAUD, 1990).

**Invariantes Operatórios:** determinam as diferenças entre um esquema e outro, onde a percepção, a busca e a seleção de informação baseiam-se inteiramente no sistema de conceitos-em-ação disponíveis para o sujeito por intermédio das relações, condições, atributos, objetos e circunstâncias, e nos teoremas-em-ação subjacentes à sua conduta (VERGNAUD, 1990).

**Mecanismos Externos:** pertencem ao ambiente, podendo ser de diversos tipos e de capacidade variável, indo desde objetos físicos simples (dedos, pedra) até práticas sociais complexas, artefatos culturais e redes de computadores (SOUZA, 2004).

**Mecanismos Internos:** fisiológicos, geram algoritmos que permitem a conexão, a interação entre o processamento interno do cérebro e o processamento extracerebral, que envolve gerenciamento de *drivers*, algoritmos, protocolos, códigos e dados (SOUZA, 2004).

**Mediação:** definida como um conjunto de conceitos, esquemas e competências mais amplos que possibilitam facilidade na representação e manipulação do saber com maior quantidade e variedades de mecanismos de registros (SOUZA, 2004).

**Mediação cognitiva:** depende diretamente do suporte dos mecanismos internos, *drivers*, para ter a capacidade de acessar corretamente os mecanismos externos (SOUZA, 2004).

**Mediação Cultural:** a mediação cultural refere-se à forma de armazenamento do conhecimento mediante a linguagem – escrita, falada ou imagística – e seus respectivos desdobramentos, implicando a possibilidade de expressar experiências e acontecimentos (SOUZA, 2004).

**Mediação Hiper-cultural:** Forma mais avançada de mediação que seria a “mediação digital”, baseia-se no uso de ferramentas tecnológicas responsáveis por realizarem processamentos externos de informação, interagindo com os mecanismos internos de processamento e, como consequência, modificando a estrutura cognitiva do indivíduo (SOUZA, 2004).

**Mediação Psicofísica:** é a forma mais básica, resultante das características fisiológicas do sistema nervoso central do sujeito e físico-química dos objetos. Os mecanismos externos resumem-se a eventos físicos, químicos e biológicos e os internos a esquemas sensorio-motores (SOUZA et al., 2012).

**Mediação Social:** é construída a partir da relação entre os indivíduos, na qual os membros de um grupo agregam, indiretamente, as capacidades perceptivas dos demais membros. Há um compartilhamento – consciente ou não – das percepções e memórias dos membros do grupo (SOUZA, 2004).

**Objeto cognoscível:** refere-se ao conceito abstrato, problema, situação ou relação em que o indivíduo busca conhecimento, aprendizagem, propriedades e atributos (SOUZA, 2004).

**Processamento externo:** O indivíduo utiliza o processamento externo por meio da interação (mediação) com estruturas do ambiente para aumentar a capacidade de processamento de informações (SOUZA, 2004).

**Processamento Interno:** mecanismo fisiológico que envolve a execução individual do cérebro em operações lógicas (SOUZA, 2004).

**Representações simbólicas:** R é um conjunto de representações (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) possíveis de serem usadas para indicar e representar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos para lidar com elas (VERGNAUD, 1990).

**Situação:** As situações é que dão sentido ao conceito e o conceito torna-se significativo através de uma variedade de situações. Sendo uma combinação de tarefas, no qual os processos cognitivos e as respostas do sujeito são função das situações com as quais é confrontado. Em um campo conceitual, existe uma variedade de situações onde os conhecimentos dos alunos são moldados pelas situações que dão sentido aos conceitos e aos procedimentos que queremos que os alunos aprendam (VERGNAUD, 1990).

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – PRODUÇÃO DE DADOS: Pré-teste



**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

PRODUÇÃO DE COLETA DE DADOS – Pré-Teste

**Estudo de simulações computacional no ensino da eletrostática**

1. Nome \_\_\_\_\_
2. Data \_\_\_\_\_
3. Nome fictício (preenchido pelo pesquisador): \_\_\_\_\_

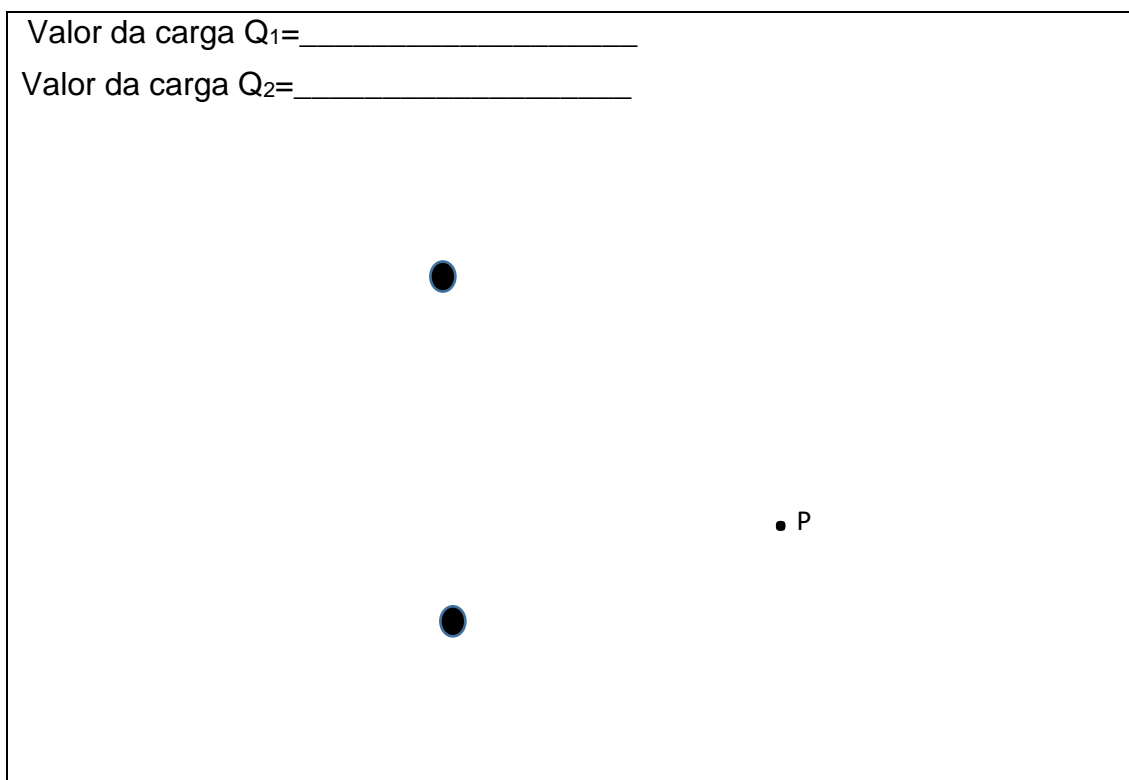
Para responder as questões abaixo, utilize formulas, diagramas, gráficos, desenhos o que considerar necessário.

**Siga as instruções:**

1) No quadro a seguir, encontramos distribuídas duas cargas positivas. Estas cargas, separadas por uma distância  $d$  criam um campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$ . Dessa forma, represente no ponto  $\mathbf{P}$  o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$  (criado pela carga  $Q_1$ ),  $\vec{E}_2$  (criado pela carga  $Q_2$ ), e  $\vec{E}_{Res}$  o campo elétrico resultante criado por ambas as cargas. Inicie atribuindo valores a elas.

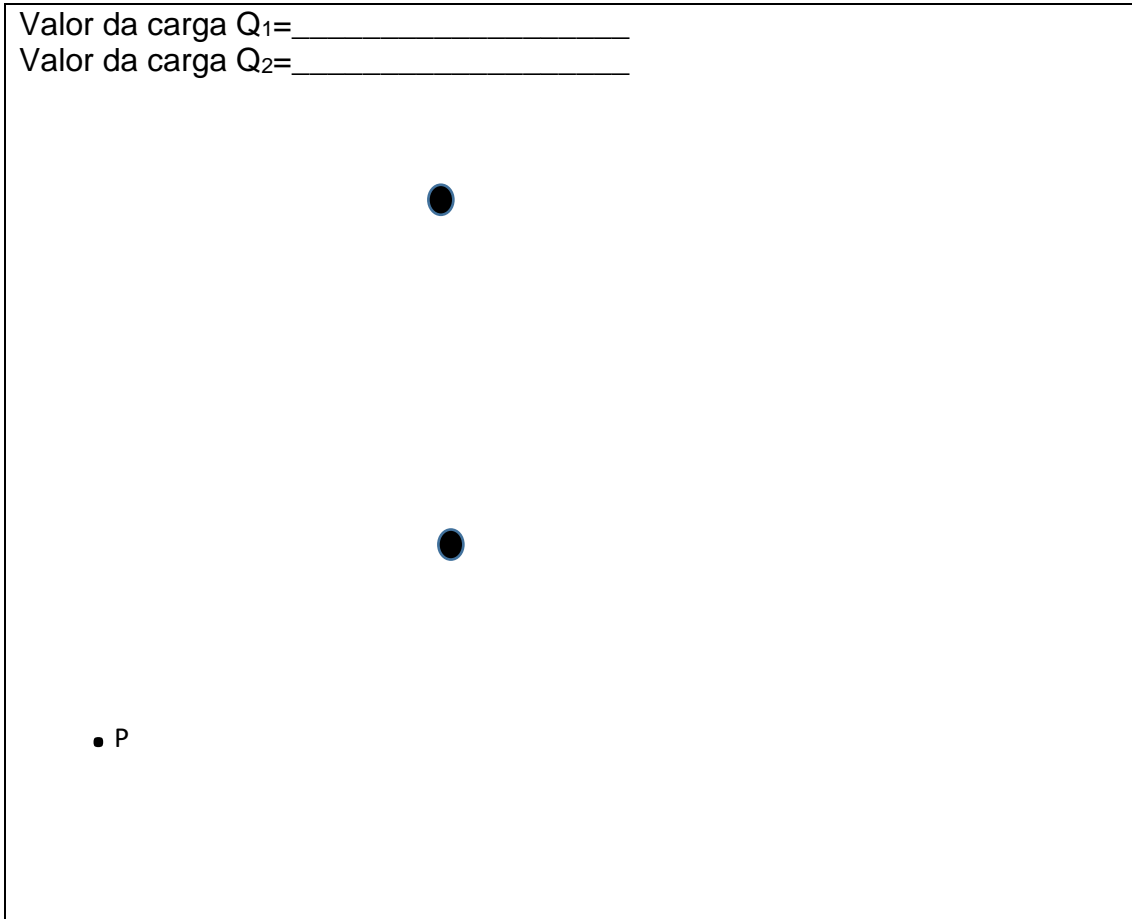
Valor da carga  $Q_1 =$  \_\_\_\_\_

Valor da carga  $Q_2 =$  \_\_\_\_\_



2) Agora encontramos distribuídas duas cargas negativas, das quais você também deverá atribuir valores a elas. Estas cargas a uma distância  $d$  criam um campo elétrico  $\vec{E}$ . Dessa forma, represente no ponto  $P$  o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  e  $\vec{E}_{Res}$  criado por estas cargas.

Valor da carga  $Q_1 =$  \_\_\_\_\_  
Valor da carga  $Q_2 =$  \_\_\_\_\_

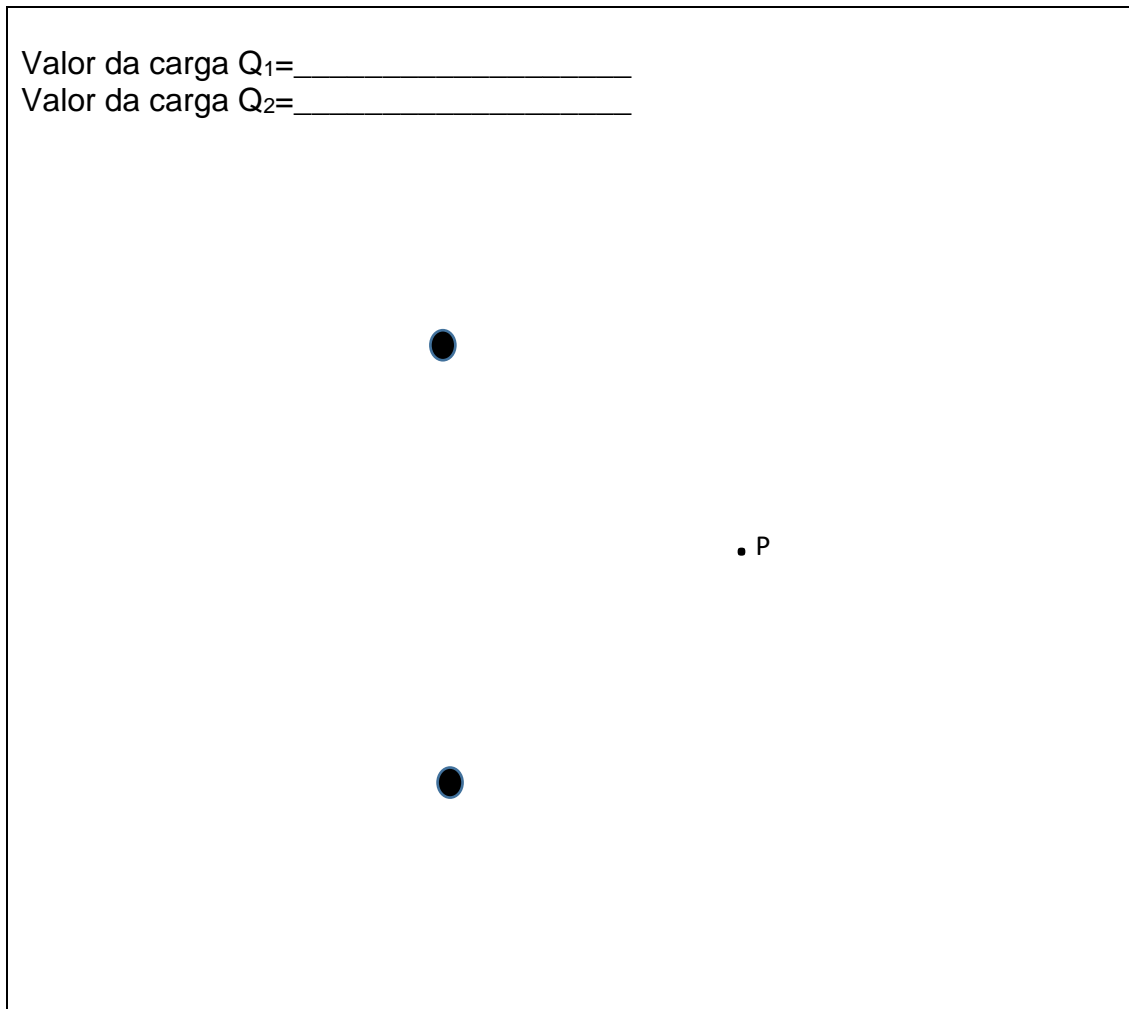




3) Por fim, encontramos distribuídas duas cargas, uma positiva e outra negativa, das quais você deverá também atribuir valores a elas. Estas cargas a uma distância  $d$  criam um campo elétrico  $\vec{E}$ . Represente no ponto  $P$  o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  e  $\vec{E}_{Res}$  criado por estas cargas.

Valor da carga  $Q_1 =$  \_\_\_\_\_

Valor da carga  $Q_2 =$  \_\_\_\_\_



4) Escreva com suas próprias palavras, como se estivesse explicando para outro colega, o que é campo elétrico. Utilize, para tanto, se desejar, fórmulas, digramas, desenhos, imagens, etc. O que considerar necessário.

## APÊNDICE B – GUIA DE ATIVIDADE DA SIMULAÇÃO


**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**
**GUIA PARA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE GEOGEBRA**
**Estudo de simulações computacional no ensino da eletrostática**

4. Nome \_\_\_\_\_
5. Data \_\_\_\_\_
6. Nome fictício (preenchido pelo pesquisador): \_\_\_\_\_

**Introdução**

O guia de simulação possui como objetivo te orientar na realização da atividade proposta no GeoGebra, um programa de computador desenvolvido para facilitar o estudo de campo elétrico. Para o bom desenvolvimento da atividade, você deve observar as instruções e realizar posteriormente o registro neste material. Bom trabalho!!

---

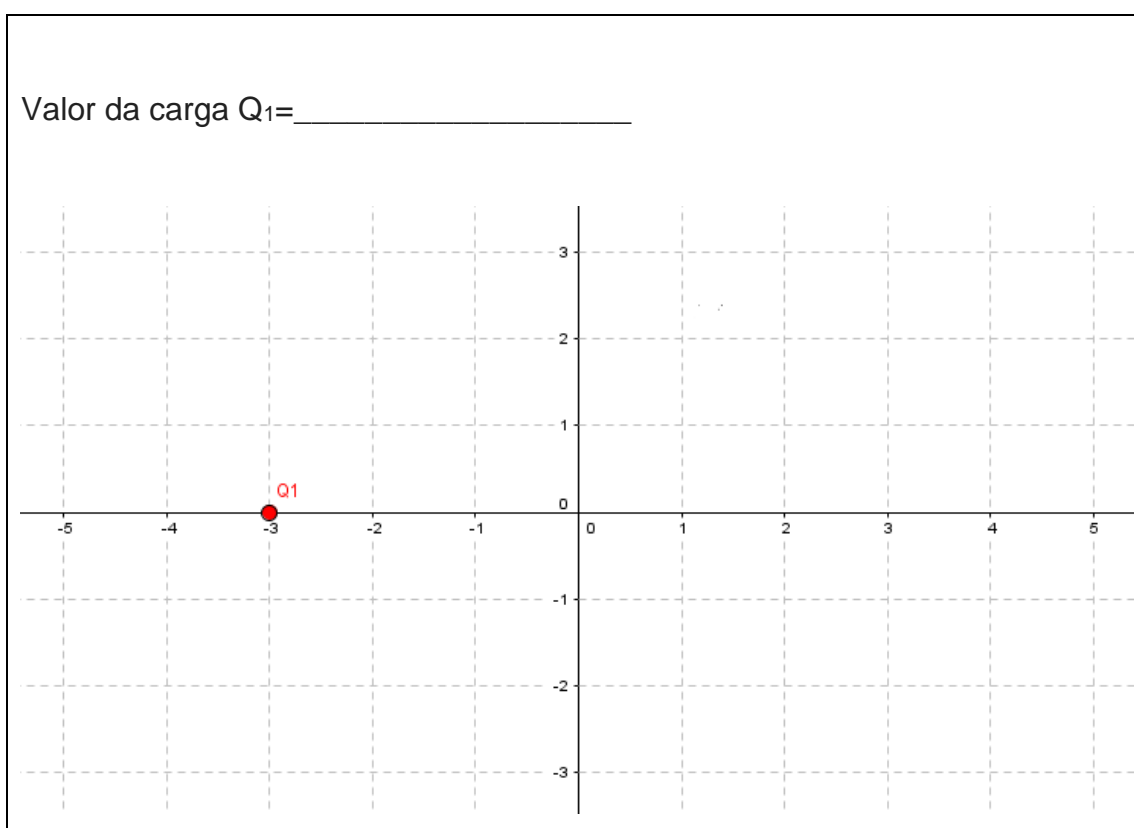
**Conceito de Campo Elétrico**

O cientista inglês Michael Faraday, introduziu a ideia de campo elétrico  $\vec{E}$ , no século XIX. Segundo a física, campo elétrico é um campo vetorial, no qual consiste em uma distribuição de vetores, um para cada ponto de uma região em torno de um objeto eletricamente carregado. As linhas de campo elétrico se afastam quando positivas e se aproximam quando negativas. Dessa forma, uma força eletrostática  $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ , age sobre um carga, e seu vetor campo elétrico  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$  é criado. Assim o módulo do campo elétrico em um determinado

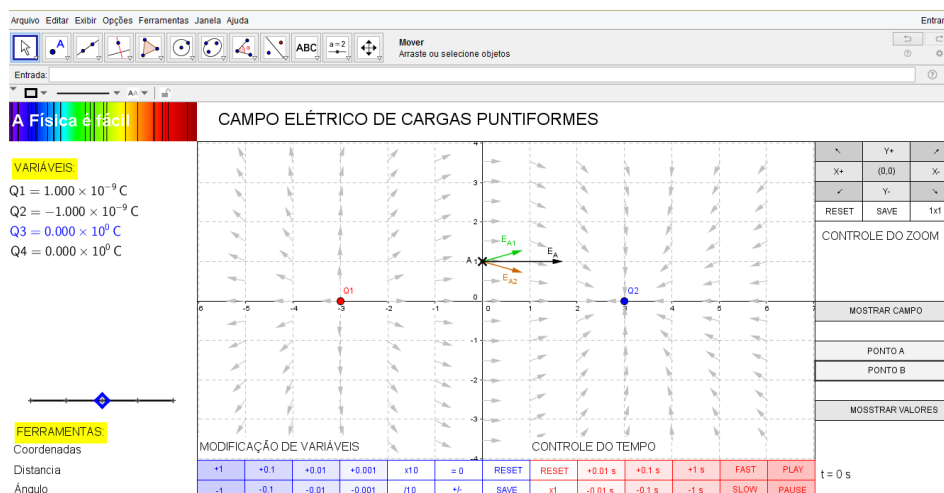
ponto é  $\vec{E}$ , e a orientação de  $\vec{E}$  é a  $\vec{F}$  que age sobre esse ponto. Lembrando que o vetor identifica o sentido do campo elétrico gerado pela carga.

### Atividade envolvendo cargas elétricas

**1) Previsão:** No quadro a seguir, encontra-se distribuída uma carga positiva  $Q_1$ , a qual você deve atribuir um valor. Em seguida, esboce um ponto em algum lugar da imagem abaixo, utilize a letra **A** para representar o ponto escolhido. De acordo com seus conhecimentos, trace o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$  neste ponto.



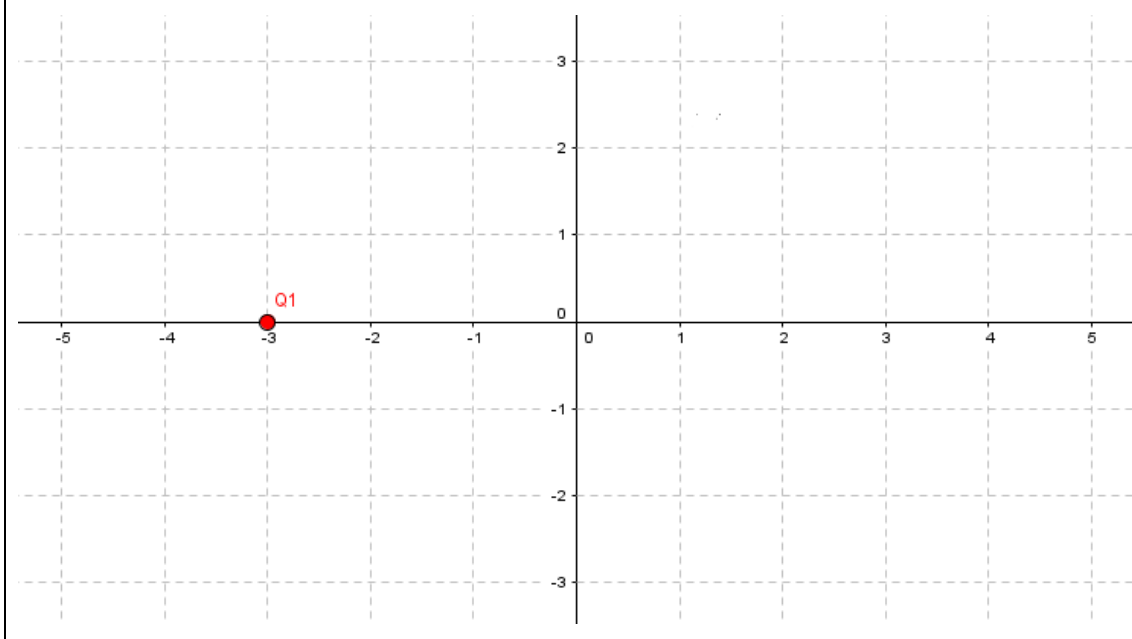
**1.1) Observação:** Abra o *software* (programa) GeoGebra que se encontra na área de trabalho.



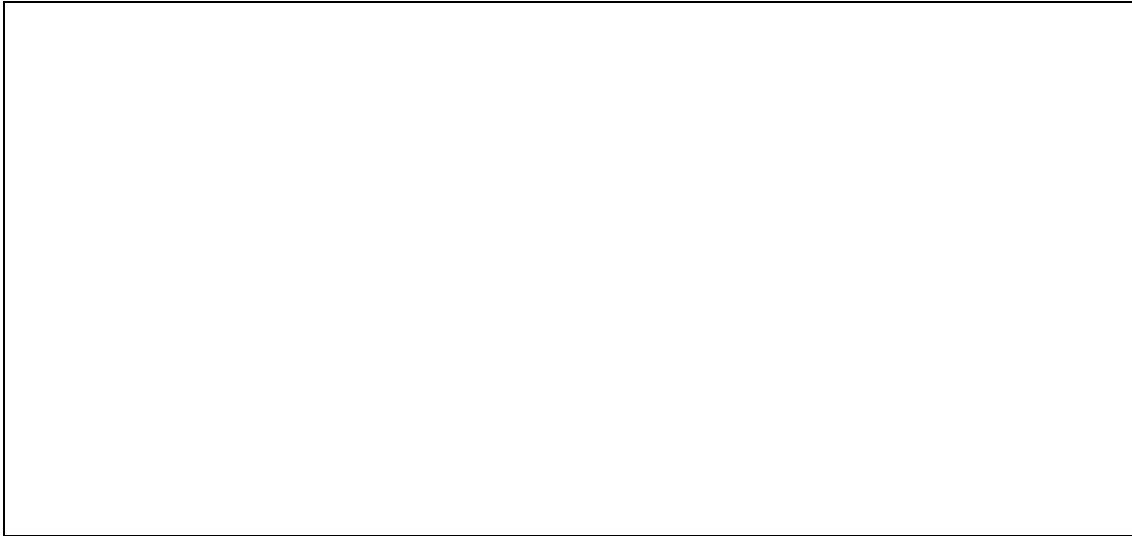
No programa, clique sobre a carga  $Q_2$  (situada no canto superior esquerdo da interface do programa), selecionando-a. Em seguida, vá até o painel das “Modificações de variáveis” e clique no campo “=0”. Observe que a carga  $Q_2$  zerou, desta forma, permanecerá na simulação apenas a carga  $Q_1$ , a qual você deve atribuir novamente o mesmo valor indicado na etapa anterior (previsão). Para atribuir o valor da carga, você deve primeiramente selecionar  $Q_1$  e em seguida movimentar o losango azul que está sobre a barra preta situada no canto inferior esquerdo da interface.

Após ter realizado as modificações orientadas no parágrafo anterior, utilize o GeoGebra para visualizar o vetor  $\vec{E}_1$ . Desenhe a imagem observada.

Valor da carga  $Q_1 =$  \_\_\_\_\_

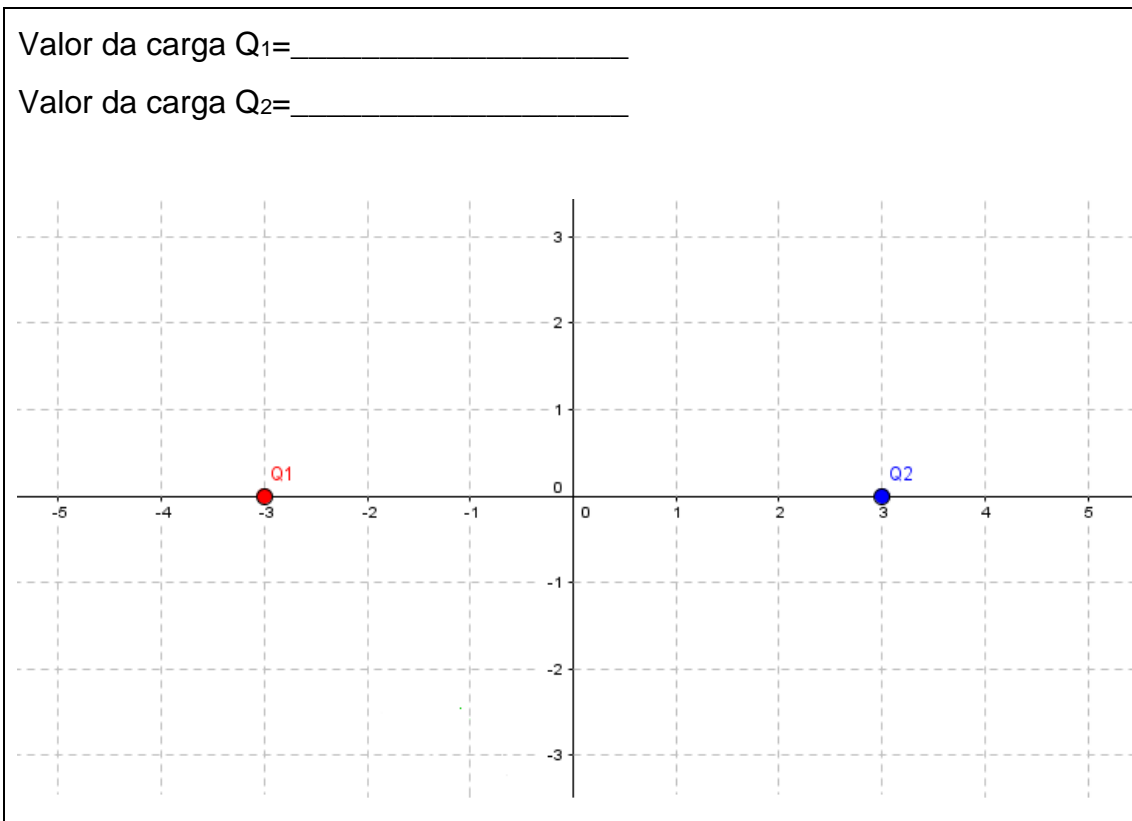


**1.2) Explicação:** Houve alguma diferença entre o que você previu e a sua verificação no GeoGebra? Qual? Descreva/desenhe abaixo.

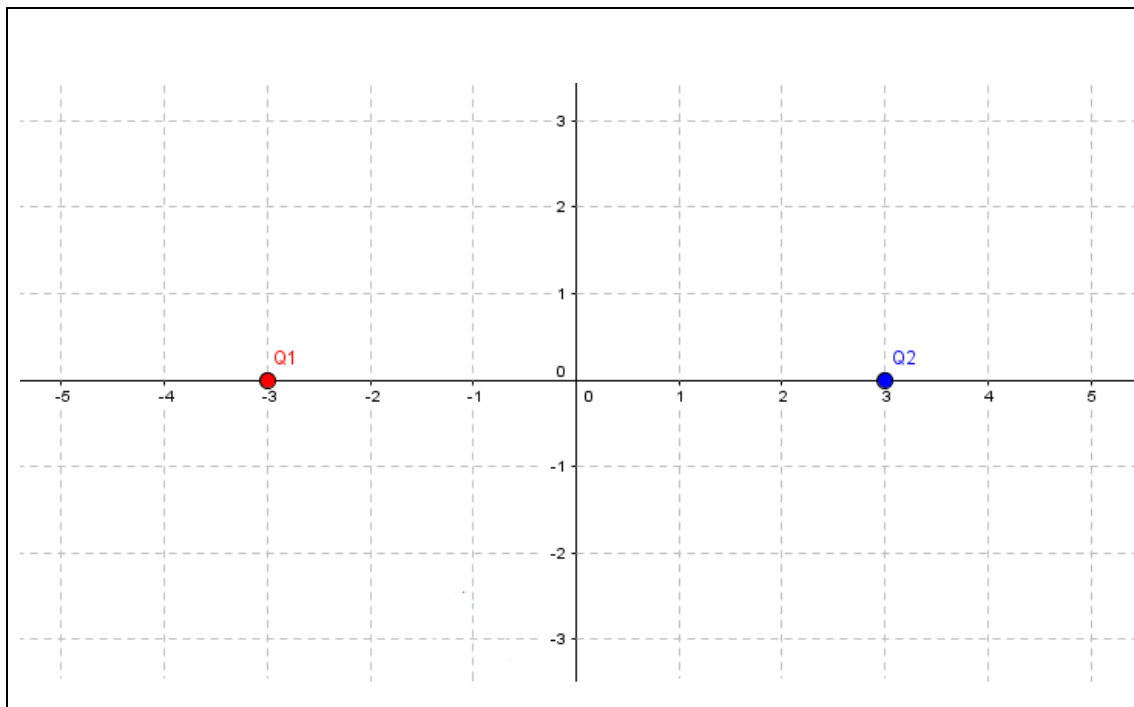


**2) Previsão:** No quadro a seguir, encontram-se duas cargas de mesmo sinal,  $Q_1$  e  $Q_2$ . Escolha dois valores para as cargas. Na sequência, esboce um ponto (**A**) na posição de sua escolha, “dentro” das limitações da figura abaixo.

**2.1)** Como você acha que ficará o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  neste ponto? Determine/desenhe o vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  no ponto.



**2.2) Observação:** No GeoGebra, atribua os mesmos valores, para as cargas, que você escolheu anteriormente, e então, verifique os vetores campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$ . Observe o vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  gerado. Desenhe a imagem observada.

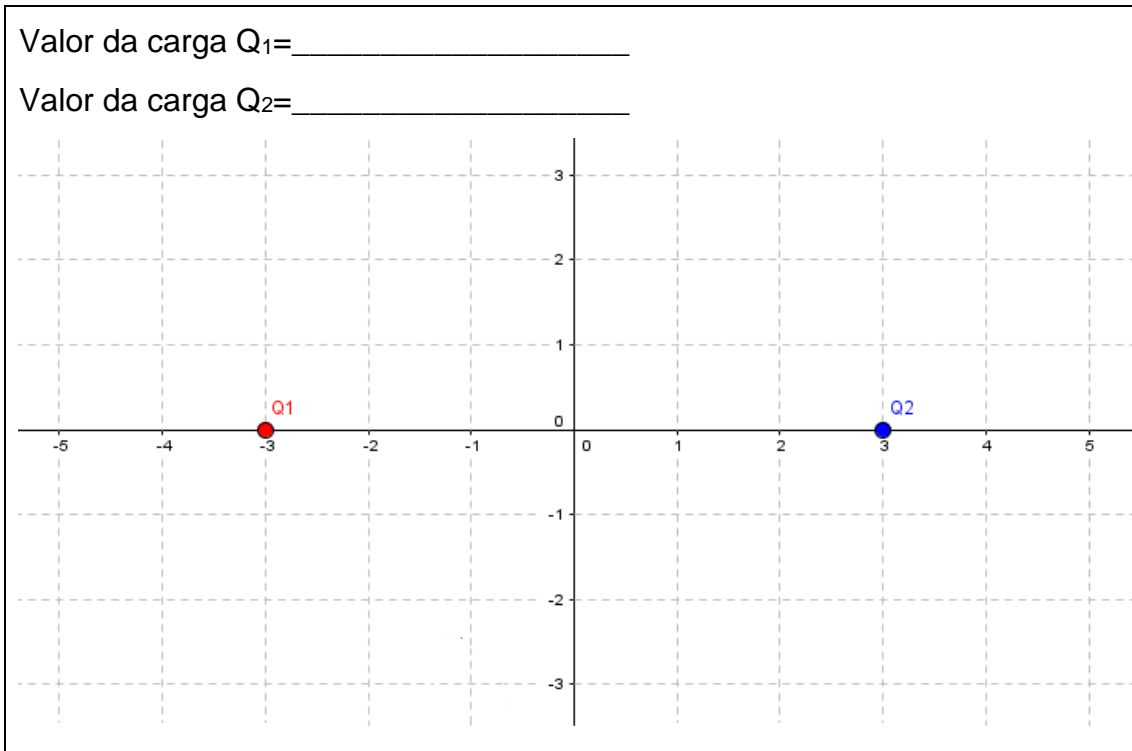


**2.3) Explicação:** Houve alguma diferença entre o que você previu e a sua verificação no GeoGebra? Qual? Descreva/desenhe abaixo.

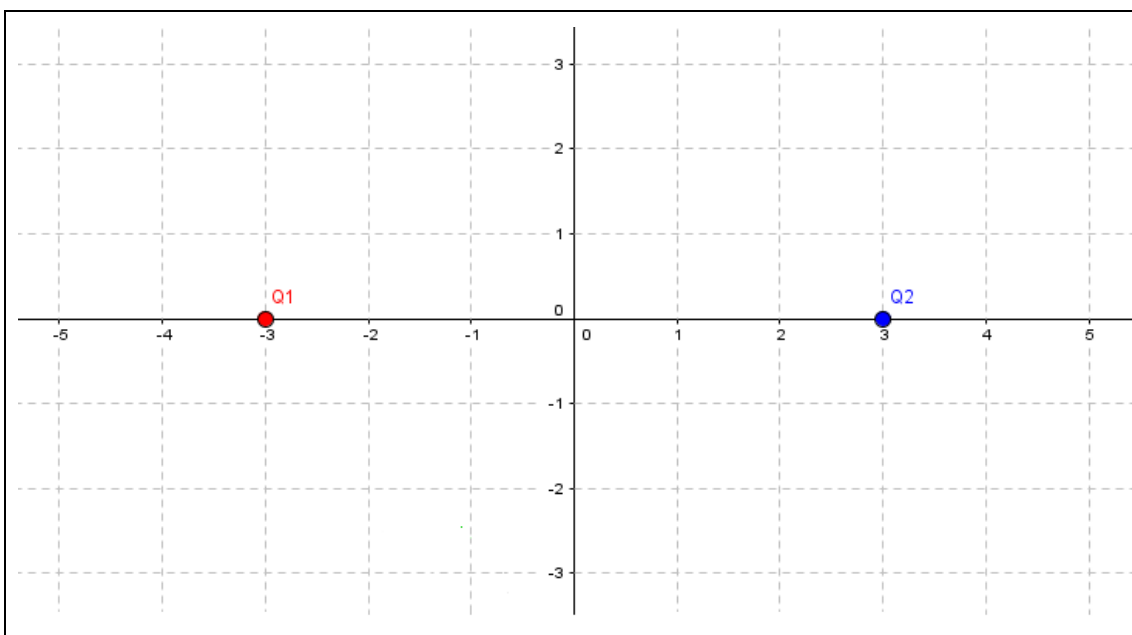


**3) Previsão:** No quadro a seguir, encontram-se duas cargas de sinais contrários  $Q_1$  e  $Q_2$ , uma positiva e a outra negativa, atribua valores a essas cargas. Após, escolha um ponto determinado **A** no espaço e represente-o.

**3.1)** Como você acha que ficará o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  neste ponto? Determine/desenhe o vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  neste ponto.

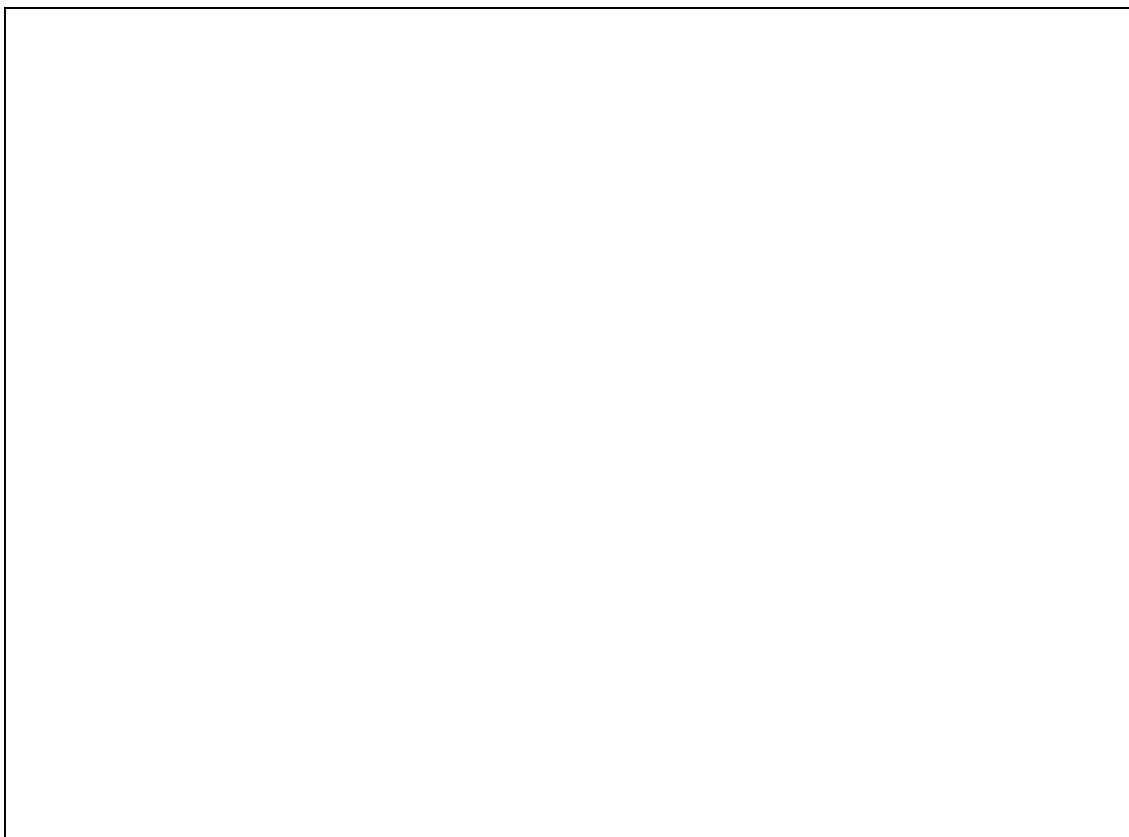


**3.2) Observação:** No GeoGebra atribua os mesmos valores para as cargas, e projete os vetores campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$ . Observe o vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  gerado. Desenhe a imagem observada.





**3.3) Explicação:** Houve alguma diferença entre o que você previu e a sua verificação no GeoGebra? Qual? Descreva/desenhe abaixo.

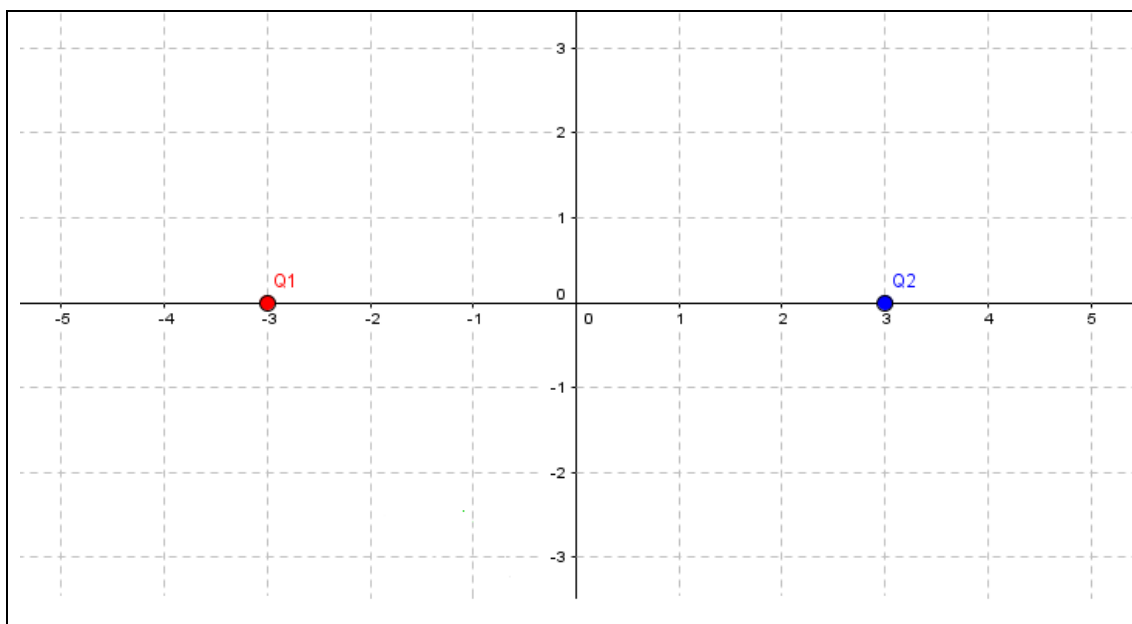


**4) Previsão:** No quadro a seguir, encontram-se duas cargas de sinais contrários  $Q_1$  e  $Q_2$ , uma positiva e a outra negativa, atribua os seguintes valores para as cargas  $Q_1 = 1 \times 10^{-9} \text{C}$  e  $Q_2 = -1 \times 10^{-9} \text{C}$ . Após, trace o ponto **A** na origem (0,0) e represente-o.

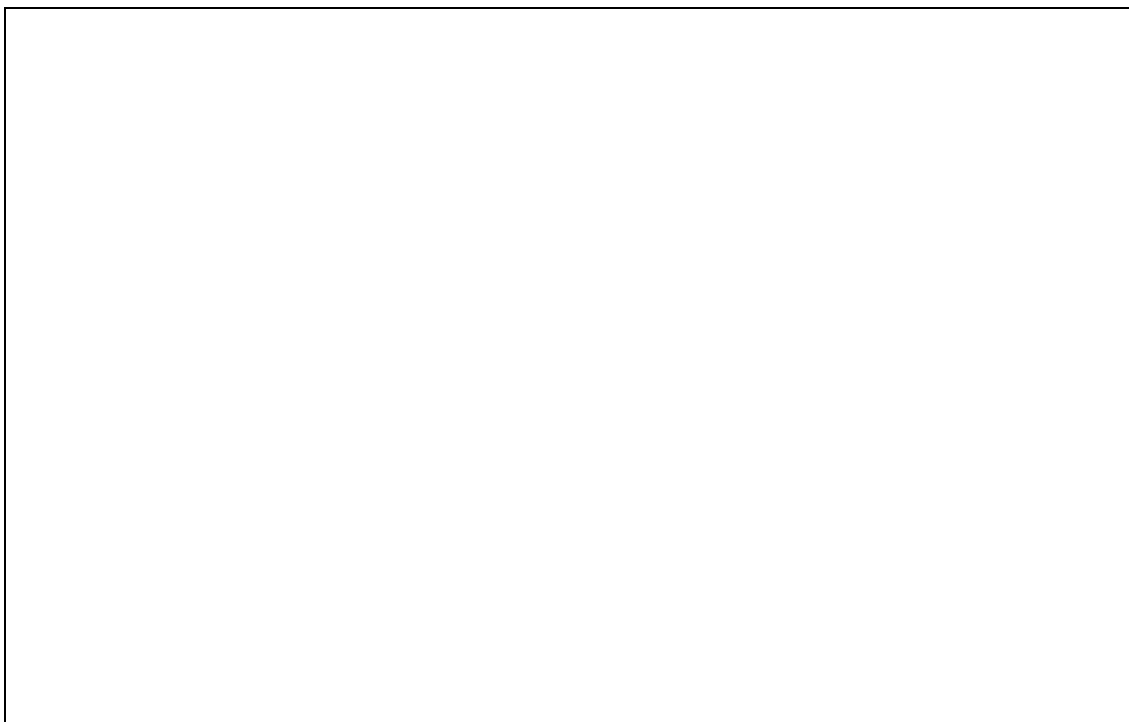
**4.1)** Como você acha que ficará o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  neste ponto? Determine/desenhe o vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  neste ponto.

Valor da carga  $Q_1 =$  \_\_\_\_\_

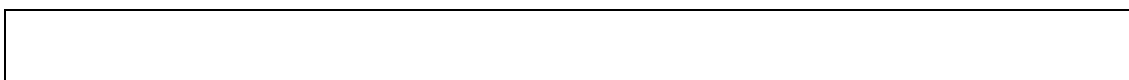
Valor da carga  $Q_2 =$  \_\_\_\_\_

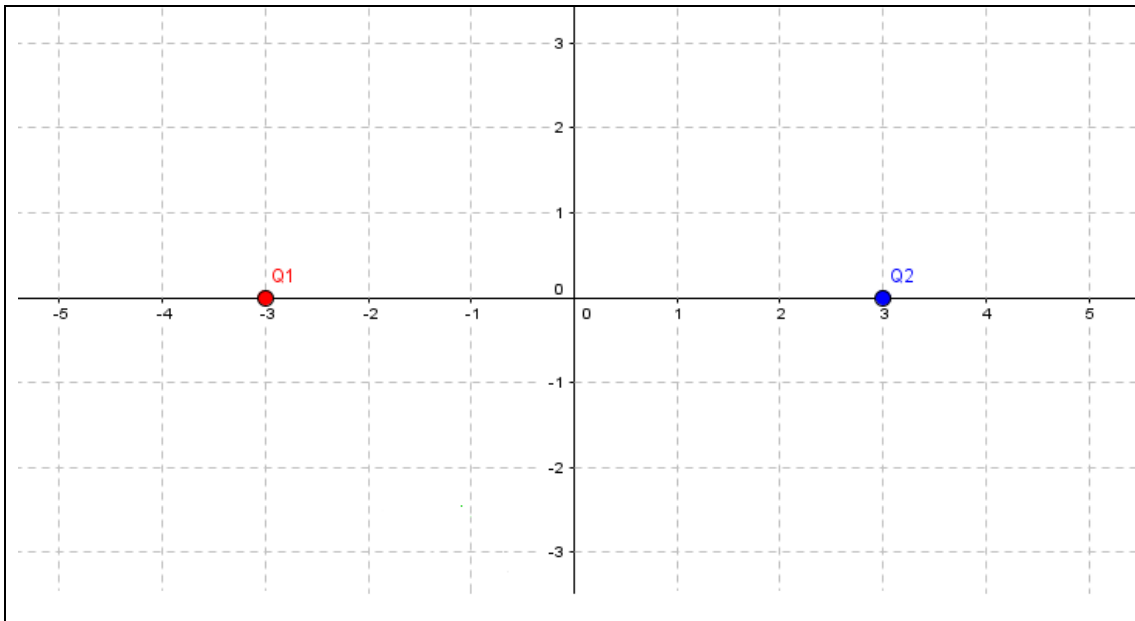


**4.2)** Determine o módulo do Vetor campo elétrico criado pela  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  e sua resultante e o módulo do vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  gerado.



**4.3) Observação:** No GeoGebra atribua os valores solicitados anteriormente, e projete os vetores campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$ . Observe o vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  gerado. Desenhe a imagem observada.





**4.4)** Determine através do GeoGebra o módulo dos vetores campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  e o módulo do vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  gerado.

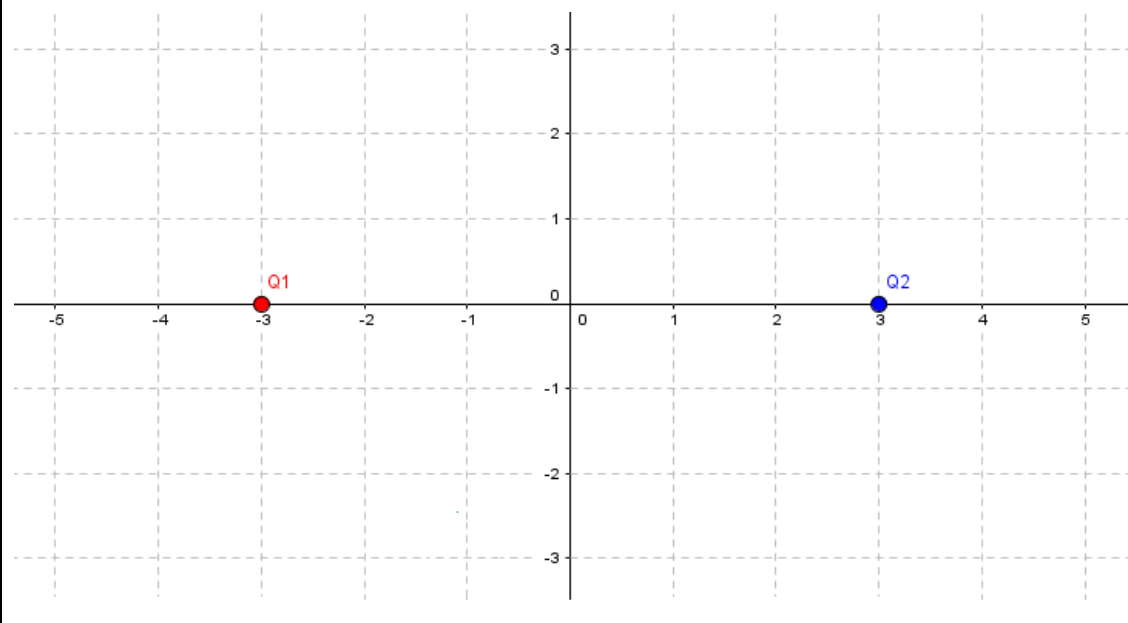
**4.5) Explicação:** Houve alguma diferença entre o que você previu e a sua verificação no GeoGebra? Qual? Descreva/desenhe abaixo.

**5) Previsão:** No quadro a seguir, encontram-se duas cargas de sinais iguais  $Q_1$  e  $Q_2$ , sendo duas positivas, atribua os seguintes valores para as cargas  $Q_1 = 1 \times 10^{-9} \text{C}$  e  $Q_2 = 1 \times 10^{-9} \text{C}$ . Após, trace o ponto **A** na origem (0,2) e represente-o.

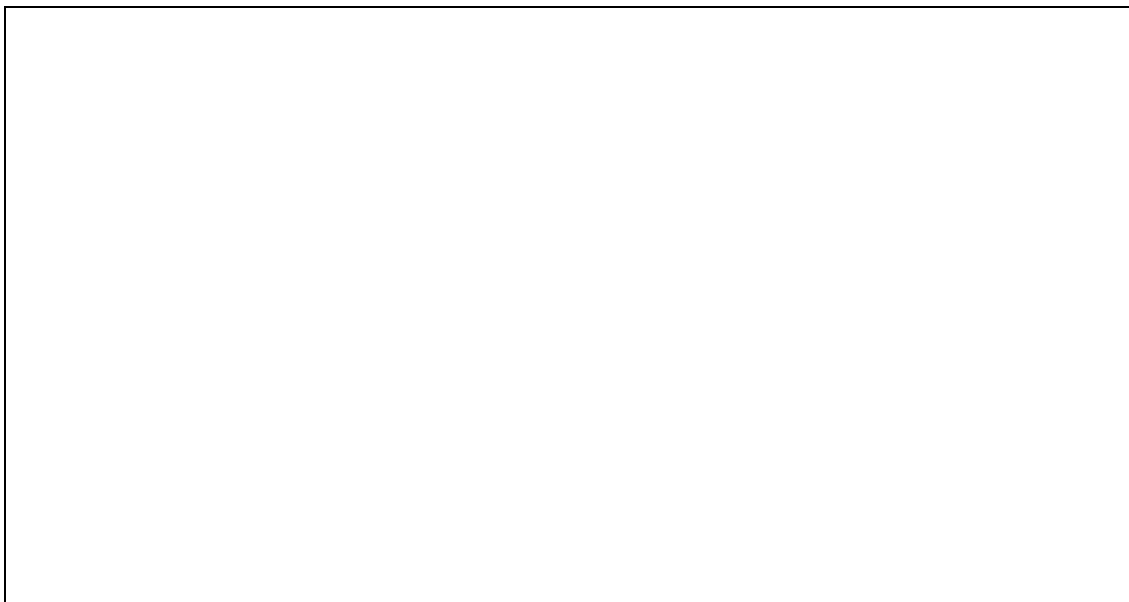
**5.1)** Como você acha que ficará o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  neste ponto? Determine/desenhe o vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  neste ponto.

Valor da carga  $Q_1 =$  \_\_\_\_\_

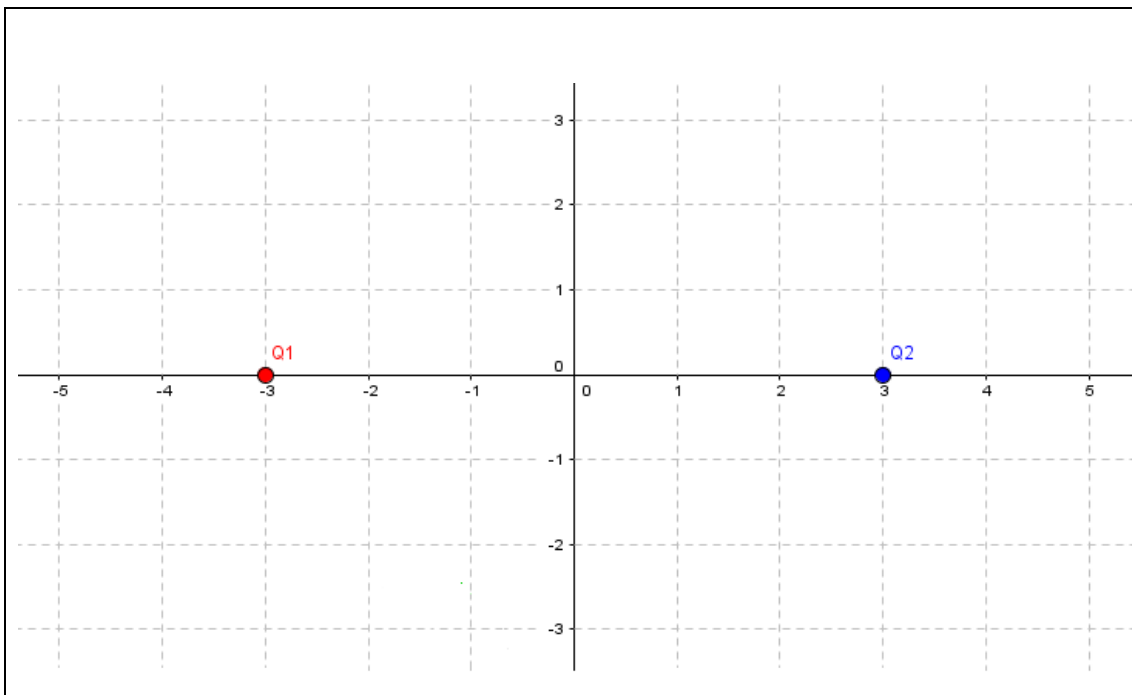
Valor da carga  $Q_2 =$  \_\_\_\_\_



**5.2)** Determine o módulo do Vetor campo elétrico criado pela  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  e sua resultante e o módulo do vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  gerado.



**5.3) Observação:** No GeoGebra atribua os valores solicitados anteriormente, e projete os vetores campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$ . Observe o vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$  gerado. Desenhe a imagem observada.



**5.4)** Determine através do GeoGebra o módulo dos vetores campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  e o módulo do vetor campo elétrico resultante  $\vec{E}_{RES}$  gerado.

**5.5) Explicação:** Houve alguma diferença entre o que você previu e a sua verificação no GeoGebra? Qual? Descreva/desenhe abaixo.

## APÊNDICE C – PRODUÇÃO DE DADOS: Pós-teste



**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

PRODUÇÃO DE COLETA DE DADOS – Pós-Teste

**Estudo de simulações computacional no ensino da eletrostática**

7. Nome \_\_\_\_\_  
 8. Data \_\_\_\_\_  
 9. Nome fictício (preenchido pelo pesquisador): \_\_\_\_\_

Para responder as questões abaixo, utilize formulas, diagramas, gráficos, desenhos o que considerar necessário.

**Siga as instruções:**

4) No quadro a seguir, encontramos distribuídas duas cargas positivas. Estas cargas, separadas por uma distância  $d$  criam um campo elétrico resultante  $\vec{E}_{Res}$ . Dessa forma, represente no ponto **P** o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$  (criado pela carga  $Q_1$ ),  $\vec{E}_2$  (criado pela carga  $Q_2$ ) e  $\vec{E}_{Res}$  o campo elétrico resultante criado por ambas as cargas. Inicie atribuindo valores a elas.

Valor da carga  $Q_1 =$  \_\_\_\_\_

Valor da carga  $Q_2 =$  \_\_\_\_\_



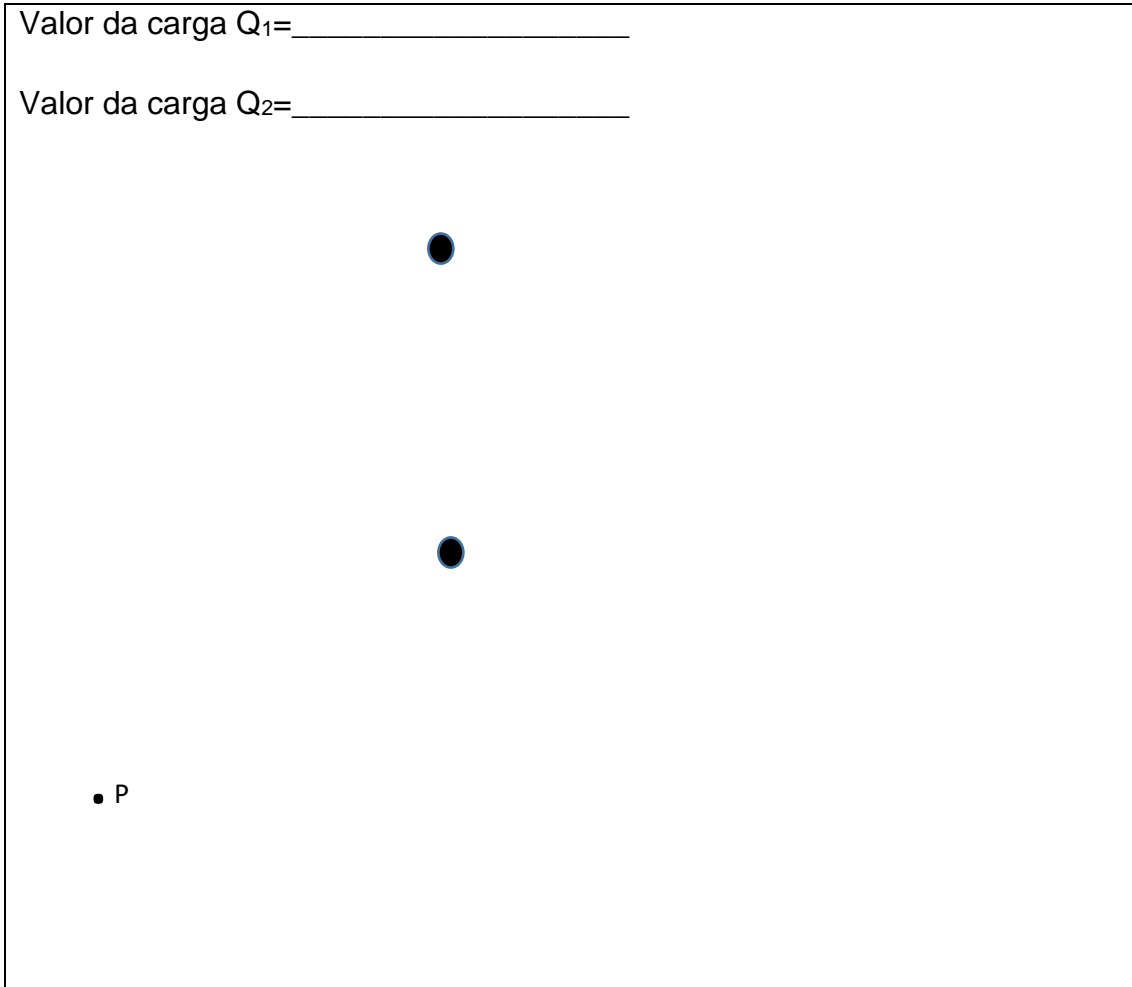
• P



5) Agora encontramos distribuídas duas cargas negativas, das quais você também deverá atribuir valores a elas. Estas cargas a uma distância  $d$  criam um campo elétrico  $\vec{E}$ . Dessa forma, represente no ponto  $\mathbf{P}$  o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  e  $\vec{E}_{Res}$  criado por estas cargas.

Valor da carga  $Q_1 =$  \_\_\_\_\_

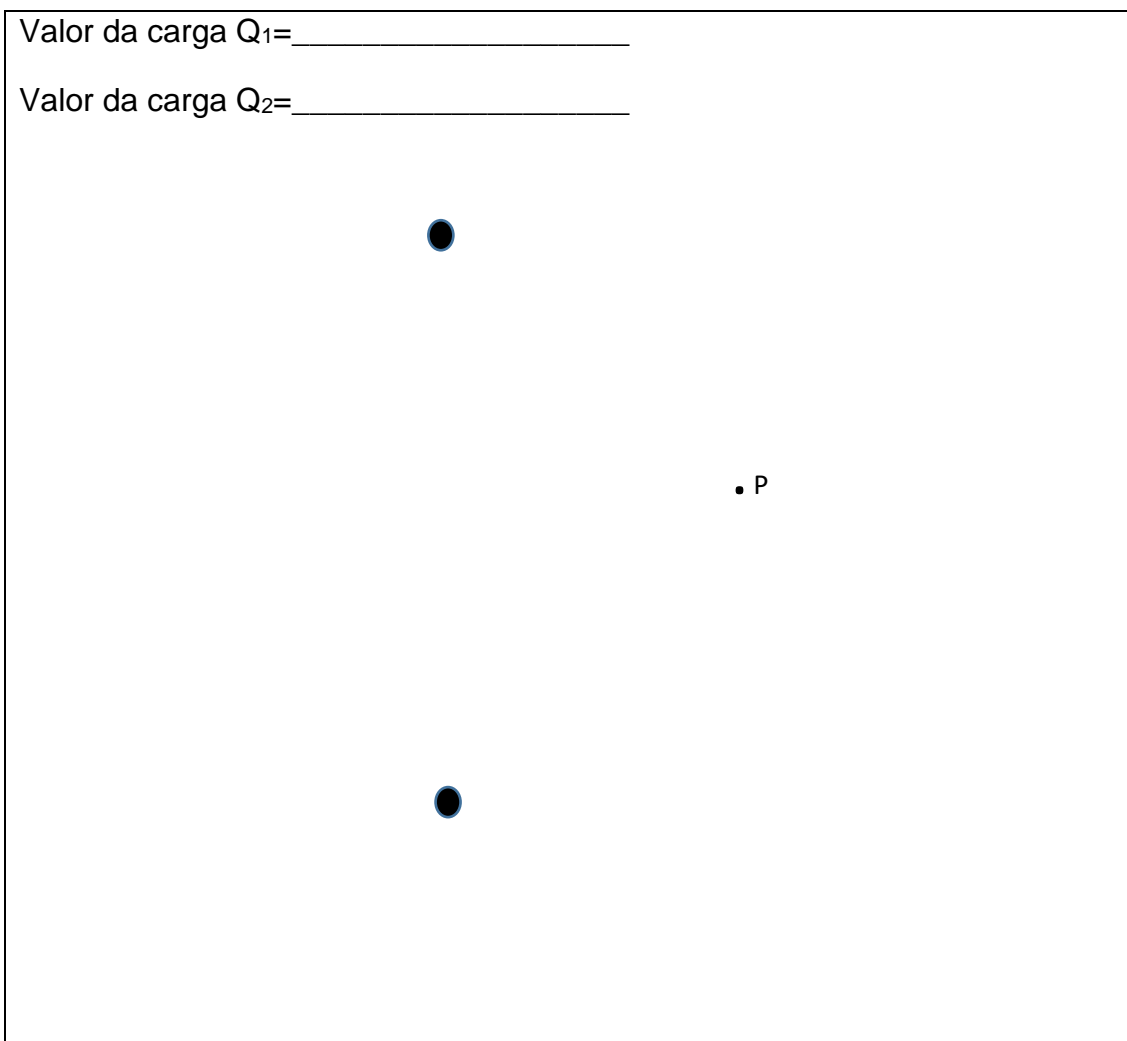
Valor da carga  $Q_2 =$  \_\_\_\_\_



6) Por fim, encontramos distribuídas duas cargas, uma positiva e outra negativa, das quais você deverá também atribuir valores a elas. Estas cargas a uma distância  $d$  criam um campo elétrico  $\vec{E}$ . Represente no ponto  $P$  o vetor campo elétrico  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$  e  $\vec{E}_{Res}$  criado por estas cargas.

Valor da carga  $Q_1 =$  \_\_\_\_\_

Valor da carga  $Q_2 =$  \_\_\_\_\_



4) Escreva com suas próprias palavras, como se estivesse explicando para outro colega, o que é campo elétrico. Utilize, para tanto, se desejar, fórmulas, digramas, desenhos, imagens, etc. O que considerar necessário.



## APÊNDICE D – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO: para os estudantes  
(sujeitos da pesquisa)

Prezado(a) Estudante

Meu nome é Graciela Paz Meggiolaro, 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 projeto de pesquisa intitulado UMA INVESTIGAÇÃO ENTRE OS MECANISMOS EXTERNOS DE MEDIAÇÃO E AS SITUAÇÕES-PROBLEMA, NO ESTUDO DO CAMPO CONCEITUAL DA ELETROSTÁTICA COM ALUNOS DO CURSO DE ENGENHARIA 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 dos conceitos da eletrostática. 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 logo das entrevistas serão filmadas. As imagens serão, posteriormente, analisadas pela pesquisadora e o áudio transcrito e igualmente analisado. 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 por Graciela Paz Meggiolaro e concordo em participar. Esse documento possui duas vias, ficando uma com o colaborador voluntário e outra com o pesquisador.

Santo Ângelo, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do colaborador(a)  
voluntário da pesquisa

\_\_\_\_\_  
Assinatura do pesquisador

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Prof. Orientador

Contato: Pesquisador: Graciela Paz Meggiolaro E-mail: [gracipmegg@gmail.com](mailto:gracipmegg@gmail.com)

Fone: (55) XXXX-XXXX.

## APÊNDICE E – GESTOS UNIVERSAIS

- #AC: Atração de Cargas: Movimento das mãos indicando que diferentes cargas se atraem
- #ACC: Apropriação de conceitos: Movimento das mãos para dentro, representando apropriação de conceitos sobre campo, carga e vetor resultante. Imagem dinâmica.
- #AD: Atividade Desenvolvida: Com toda a palma da mão, ou com a ponta do dedo indica a atividade que realizou no papel ou estudada. Imagem estática
- #ADR: Atividade Desenvolvida com Régua: Com toda a palma da mão, indica ou aponta a atividade que realizou no papel, simulando a utilização de uma régua. Imagem dinâmica
- #AG: Atividade no GeoGebra: simulação computacional no GeoGebra envolvendo cargas elétricas, e vetores do campo elétrico. Imagem dinâmica.
- #AU: Atividade Unida: movimento das mãos separadas e se juntando, demonstrando a unificação dos conceitos trabalhados em aula e a simulação utilizada no GeoGebra, conceitos de campo, carga, força. Imagem dinâmica.
- #AV: Atribuindo Valores: através da representação do dedo demonstra que acrescentou qualquer valor para a carga elétrica no GeoGebra. Imagem estática.
- #BC: Bastão com cargas: representa com o dedo o bastão, com um cabeçote e ao seu redor cheio de cargas.
- #CD: Caminhão se deslocando: Representa com as mãos o movimento de um caminhão se deslocando com uma determinada carga. Imagem dinâmica.
- #CE: Campo Elétrico: Deslocou as duas mãos da direita para a esquerda, indicando que o campo elétrico possui vetores, e que saem de uma carga. Imagem dinâmica.
- #CEN: Carga Elétrica Negativa: demonstra com as mãos, indicando através do movimento dos dedos para dentro que cargas negativas se atraem. Imagem dinâmica.
- #CEP: Carga Elétrica Positiva: demonstra com as mãos, indicando através do movimento dos dedos que as linhas de campo são direcionadas para fora e que se repele. Imagem dinâmica.
- #CG: Campo gravitacional: com as duas mãos representa que a terra é redonda e ao seu redor existe um campo gravitacional ao seu redor. Imagem dinâmica.
- #CGA: Campo gravitacional com atração. Movimenta a mão indicando que a Terra possui um campo gravitacional, e que esse campo influencia quem se aproxima dele. Imagem dinâmica.
- #CGC: Comando do GeoGebra de Carga: como se estivesse passando a mão na tela, representa que a esquerda se encontra os valores atribuídos as cargas elétricas. Imagem dinâmica.
- #CGI: Comandos do GeoGebra Intensidade: com o indicador e o dedão, ou somente o indicar, demonstra os comandos relacionados a intensidade da carga elétrica de forma retangular, expressos na parte inferior do programa. Imagem dinâmica.
- #CP: Carga e o ponto: com a mão fechada, os dedos aproximados representa a carga em uma determinada posição e o ponto a uma certa distância da carga. Imagem dinâmica.
- #CPP: Carga pequena: Representação fechando a mão, juntando os dedos que a carga é algo pequeno e microscópico. Imagem estática.
- #CUP: Carga de Uma Pilha: com as mãos fechando como se fosse puxando, atraindo (funcionamento interno de uma pilha).

#DF: Disciplinas Fragmentados: com os dedos juntos e a mão fechada, representa que os conceitos trabalhados na aula de álgebra linear, geometria analítica e física Geral, estavam separados no qual não existia uma conexão entre estas disciplinas. Imagem dinâmica.

#E: Esfera: indica com o movimento do dedo uma esfera condutora conectada a um bastão.

#EC: Expansão de conhecimento: demonstra com a mão algo que esteja surgindo, aflorando, que havia estudado, porém estava esquecido referente os conceitos de eletrostática, ou a simulação. Imagem dinâmica.

#ECE: Equação do Campo Elétrico: demonstrando com as mãos que o campo elétrico é inversamente proporcional à distância, abrindo os braços e fechando. Imagem dinâmica.

#ED: Expansão de dúvidas: movimento das duas mãos apontado para fora ou dos dedos, representando algo que não sabia, não lembrava. Imagem dinâmica.

#EO: Espaço Ocupado: Com as mãos representando que uma região do espaço, como sendo algo delimitado, fechado como se fosse uma área. Imagem estática.

#FL: Folheando o Livro: representação através do movimento dos dedos de fora para dentro, como se estivesse folheando o livro. Imagem dinâmica.

#LC: Linhas de campo: representa com as mãos as linhas de campo maiores e menores, em relação a se aproximando e afastando. Ideia de serem tangentes e não circulares.

#LDC: Lembranças de Conceitos: movimento com a mão como se tivesse lembrando, ou regatando algo que estava guardado. Imagem estática.

#MD: Movimento do Desenho: demonstra com o movimento do dedo indicador como se estivesse desenhando no caderno, na folha ou no quadro a carga elétrica, campo elétrico ou vetor campo elétrico. Imagem dinâmica.

#MED: Metodologias distintas: Movimento das duas mãos se movendo, representando que eram duas atividades distintas, o GeoGebra e a aula do professor. Imagem dinâmica

#MIQV: Movimento inserção de qualquer valor: Movimento com a mão apontando que pensou em qualquer coisa, qualquer valor que veio na mente, como se fosse algo que tanto faz. Imagem estática.

#MIQVC: Movimento Inserção de qualquer Valor da cabeça: Movimento das duas mãos apontando para a cabeça, referente a inserção de qualquer valor, ou informação que veio na mente. Imagem Estática.

#ML: Movimento de Lembrança, de ansiedade: Movimento com todos os dedos, batendo na mesa, como se estivesse pensando, lembrando de algo, ou de nervoso ou movimento das duas mãos mexendo. Imagem estática.

#MM: Movimento das mãos: com as duas mãos, uma na frente da outra, aponta para a folha de papel descrevendo que para responder o questionário o uso do GeoGebra facilitou a representação dos vetores. Imagem dinâmica.

#MP: Metodologia do professor: movimento das duas mãos, justificando que lembrou da aula sobre campo elétrico para desenhar os vetores resultantes. Imagem dinâmica

#MV: Módulo do vetor: representa com as mãos a intensidade dos vetores, representando a diferença de intensidades dos campos, quando está próximo e afastado. Imagem dinâmica.

#P: Peso, com as mãos representa que a carga possui um valor, semelhante ao peso.

#PA: Partícula: Representa com as mãos uma partícula qualquer, como algo pequeno e com qualquer carga.

#PC: Plano Cartesiano: com o movimento do dedo ou da mão representa um plano cartesiano, com os eixos x e y. Imagem estática.

#PE: Processo de eletrização: a aluna com a mão simula que está aproximando a caneta do cabelo, carregando. Imagem Estática.

#PEE: processo de eletrização esfregando: simula com as mãos que esta eletrizando materiais, mostrando que o material ficará com falta ou excesso de elétrons

#PMCE: Palma da mão Campo Elétrico: Com a palma da mão sobre o papel aponta que a resposta que deu no pós teste está relacionada com os conceitos de carga e vetor campo elétrico discutidos em sala de aula através do professor. Imagem estática.

#PMCG: Palma da Mão Campo Gravitacional: Com a palma da mão sobre o papel aponta a resposta que deu no pós teste relacionado ao campo gravitacional. Imagem estática.

#PNE: Ponto no espaço: Representa com a mão fechada e os dedos juntos um ponto qualquer no espaço. Imagem estática.

#Q1: Quadrante 1: representação com a mão fazendo o contorno de uma circunferência, em relação aos quadrantes no plano cartesiano, sendo positivo. Imagem estática.

#Q2: Quadrante 2: representação com a mão fazendo o contorno de uma circunferência, em relação aos quadrantes no plano cartesiano, sendo positivo. Imagem estática.

#Q3: Quadrante 3: representação com a mão fazendo o contorno de uma circunferência, em relação aos quadrantes no plano cartesiano, sendo negativo. Imagem estática.

#Q4: Quadrante 4: representação com a mão fazendo o contorno de uma circunferência, em relação aos quadrantes no plano cartesiano, sendo negativo. Imagem estática.

#RC: Representação de Carga: Representação com a mão movendo os dedos de qualquer carga elétrica, podendo ser positivas ou negativa. Imagem dinâmica.

#RCC: Representa carga circular: com o dedo indicador demonstra que a carga é circular, como se fosse em uma dimensão. Imagem estática.

#RCCE: Representação de Carga e Campo Elétrico: demonstrando com as duas mãos fechadas, ou apenas uma a representação de uma carga trazendo a ideia que a carga é circular ou uma bola. Imagem dinâmica.

#RCM: Representação das Cargas na Mesa: representação de duas cargas elétricas sobre a mesa, demonstrando as posições das cargas, separadas por uma determinada distância. Imagem dinâmica.

#RD: Relatando disciplinas: com uma mão aberta e a outra como se estivesse contando, relatando uma disciplina por vez. Imagem dinâmica.

#RP: Representação de uma Pilha: como os dedos representa como se estivesse segurando uma pilha nos seus polos, positivo e o negativo. Imagem estática.

#RV: Representação do Vetor: representa com a mão os dedos através da atribuição de valores para as cargas, o vetor possui um sentido, ou direção. Imagem estática.

#SA: Sequência de atividade: com o movimento das mãos demonstra que são atividades diferentes como exercícios e explicação. Imagem dinâmica.

#SF: Sentido figurado: representa com os dedos algo dentro de aspas como algo imaginário, fictício. Imagem estática.

#TCG: Tela Central do GeoGebra: Aluno demonstra com as palmas das mãos a tela inicial da simulação, desenhando com o dedo o plano cartesiano, apresentando uma cruz, ou seja, o eixo x e y. Imagem dinâmica.

#UM: Utilização de Materiais: com as mãos indicou a utilização de outros materiais de estudo sobre os conceitos de eletrostática. Imagem dinâmica.

#VC: Várias Cargas: Concentração da Movimento das mãos justificando que existe várias cargas juntas. Imagem estática.

#VR: Vetor Resultante: movimento das mãos, representando que existe dois vetores em direções e sentidos diferentes e que a soma destes dois vetores dá outro vetor, ou seja, um vetor resultante. Imagem dinâmica