

# UMA INVESTIGAÇÃO A RESPEITO DA UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE ELETROSTÁTICA.

## AN INVESTIGATION REGARDING THE USE OF SIMULATIONS COMPUTACIONAIS IN THE TEACHING OF ELECTROSTATICS.

Josiane Maria Weiss<sup>1</sup>  
Agostinho Serrano de Andrade Neto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Luterana do Brasil/Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática/josiweiss@terra.com.br.

<sup>2</sup>Universidade Luterana do Brasil/Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática/asandrade@brturbo.com.

### RESUMO

Este trabalho apresenta uma investigação a respeito da utilização de simulações computacionais no ensino de Física, mais especificamente em eletrostática. Existem muitas dificuldades na aprendizagem dos conceitos que envolvem a eletrostática e a utilização de computadores no ensino já vem sendo pesquisada por muitos autores. Acreditando na possibilidade das simulações serem auxiliares na aprendizagem de conceitos de eletrostática, uma investigação a respeito de suas limitações e possibilidades na tarefa de auxiliar uma evolução conceitual foi realizada. Os estudantes utilizaram simulações computacionais em conjunto com um guia de utilização. A investigação da ocorrência de evolução conceitual foi feita mediante uma análise das respostas dos estudantes nos pré e pós-testes, juntamente com as respostas do guia de simulação e entrevistas.

**Palavras-chave:** simulações computacionais, eletrostática, concepções alternativas, evolução conceitual.

### Abstract

This work presents an investigation regarding the use of computational simulations in physics teaching, more specifically in electrostatics. It is evident that a lot of difficulties exist in the learning of the concepts that involve electrostatics and the use of computers in the teaching has been investigated already by many authors. Believing in the possibility of the simulations be used as tools to aid the learning of physical concepts, an investigation regarding their limitations and possibilities in the task of stimulating conceptual evolution was performed. The students used computer simulations with the aid of a guide. The investigation of the whether there was conceptual evolution or not was made by an analysis of the students' answers in the pré and post-tests, together with the simulation guide's answers and interviews.

**Keywords:** computer simulations, electrostatics, alternative conceptions, conceptual evolution.

### INTRODUÇÃO

A possibilidade de acesso a computadores e o crescente interesse dos alunos na apropriação de recursos computacionais, leva à questão da utilização de computadores na educação em geral e, em particular, no ensino da Física, fato evidenciado pela quantidade de trabalhos propondo o uso do computador como estratégia de ensino.

Na tentativa de dar conta da situação problemática que é o ensino de Física, os professores têm frequentemente utilizado recursos de ilustrações e imagens como complemento ao uso das linguagens verbal, escrita e da matemática. Ao tentarem representar fenômenos dinâmicos através de representações estáticas, vários estudos, inclusive o realizado por Alexandre Medeiros e Cleide Farias de Medeiros (2002), afirmam que, em muitos casos, essas ilustrações não tem sido de grande ajuda.

É evidente que a utilização de representações como complemento à linguagem verbal interessa ao ensino, como lembra Esquembre apud Reis (2003):

Nos anos oitenta comentava-se que antes do ano 2000 o trabalho intensivo com computadores seria o principal modo através do qual o estudante de todos os níveis iria aprender, em todas as áreas do conhecimento. Frente ao entusiasmo da revolução que causaria esta tecnologia na educação, criou-se por parte de muitos educadores, a visão romantizada de que a mera presença do computador aumentaria a aprendizagem dos estudantes. Esta visão era contraposta com a de outros educadores, que consideravam um desperdício de tempo e dinheiro. É importante destacar que os estudantes têm que se ocupar da construção ativa de sua própria representação do conhecimento científico, sendo que os computadores mostram um grande potencial para ajudar nesta construção, se forem adequadamente usados.

Com este foco, nos últimos anos, surgiu um grande número de softwares educacionais para a Física. Dependendo dos princípios de uso, Esquembre (2002) apud Reis (2003) categoriza-os em:

- Ferramentas para aquisição de dados.
- Softwares de multimídia e hipermídia.
- Micromundos e simulações.
- Ferramentas de modelagem.
- Telemática e ferramentas da Internet.

Todas as ferramentas supracitadas podem trazer excelentes contribuições para a aprendizagem de teorias e conceitos científicos. Porém a utilização das simulações computacionais tem particular importância por permitir a interação dos estudantes com o software, fazendo “perguntas” ao modelo científico contido na simulação e observando a sua resposta, assim como alterar variáveis e parâmetros destes modelos, e observar o comportamento resultante. Esta possibilidade pode levar à uma situação de aprendizagem onde o aluno efetivamente construa sua própria representação do conhecimento científico.

A tarefa do ensino do conceito de campo, em especial campo elétrico, tem sido sobremaneira difícil. Aparecem complicações que se devem às várias razões, explanadas em várias publicações na literatura de ensino de ciências. Algumas delas são destacadas por Martin e Solbes (2001):

- A dificuldade que encontramos para realizar uma introdução qualitativa do campo, dado o nível de abstração dos conceitos implicados.
- Não podemos relacionar facilmente com a experiência cotidiana dos alunos, como pode ocorrer com os conceitos de mecânica.
- Durante o processo de ensino ocorre frequentemente que as interações entre partículas podem ser descritas de diversas formas (forças, campos, energias, etc.) e podemos desorientar os alunos se não ficar suficientemente claros os conceitos, estabelecendo suas relações, suas diferenças e âmbitos de aplicação.

A maior parte das situações estudadas corresponde a casos estáticos, onde se mesclam a teoria newtoniana (que interpreta as interações entre cargas ou massas mediante forças a

distância e instantâneas) e a teoria de campo (que as interpreta como interações locais com o campo existente previamente em um ponto onde se deslocará a carga ou massa). Tudo isso se faz sem mostrar as limitações da primeira, especialmente naqueles casos em que os campos dependem do tempo, e sem as vantagens da segunda, ao permitir compreender estas situações, integrar domínios da física que inicialmente estavam desconectados como a óptica e o eletromagnetismo, etc.

Segundo suas investigações a respeito das concepções dos estudantes, Martin e Solbes (2001) afirmam o seguinte:

- 1) A imagem que o aluno adquire de campo está longe da concepção científica. Ele o considera como uma região do espaço ou tamanho que delimita a influência de uma massa, carga ou ímã. Para ele, o campo está vazio de significado, ao contrário dos conceitos de massa, carga, força e, portanto, é desnecessário, redundante e complicado. O aluno segue pensando em termos de força e não modifica suas idéias prévias sobre a interação entre partículas, o que faz com que mantenha os erros que pode ter inicialmente.
- 2) O aluno não chega a conhecer as diferenças sobre interação entre partículas, o que introduz a teoria de campo mediante ações contínuas frente à interpretação newtoniana através de ações à distância. Tampouco conhece as vantagens que a teoria de campo introduz: explicação de novos fenômenos como a indução ou as ondas eletromagnéticas, integração de domínios separados como a óptica e o eletromagnetismo, abertura de novas linhas de investigação, influência no avanço posterior da física e por outro lado, não chega a relacionar a teoria com suas aplicações tecnológicas, nem as repercussões que tem para a ciência e a sociedade.
- 3) O aluno não conhece a interpretação dos aspectos energéticos associados à interação.

Ainda segundo Martin e Solbes (2001):

A importância do conceito de campo (em particular campo de forças) tanto desde um ponto de vista científico como técnico é indiscutível. Para a física, sua introdução supõe pôr em dúvida e superar o marco teórico mecanicista, como disse Garcia (1994), “sem esta idéia básica de campo, a evolução posterior da física relativista e quântica fica inconcebível. O impacto que o descobrimento das ondas eletromagnéticas tem tido sobre a física é muito profundo. Elas tem imposto uma segunda revolução conceitual”, visto que, desde um ponto de vista técnico, o nascimento da eletrotécnica, a transmissão de sinais e a revolução nas comunicações nos levam a nova era da informação.

Estudos a respeito do ensino de Física revelam ainda dificuldades na aprendizagem de força elétrica, conceito dentro do paradigma newtoniano que podia ser tomado como de fácil aprendizagem. Os autores Furió e Guisasola (1999) destacam que os estudantes consideram de forma errônea a questão de que “a maior carga, maior força” e isto faz com que se viole o princípio de ação e reação (a simetria da força de interação) que já havia sido visto ao estudar as Leis de Newton, isto sugere que os estudantes não utilizam o que aprendem na mecânica para analisar questões de eletricidade, vendo como separados em domínios diferentes estes corpos teóricos. Por outro lado, certas dificuldades detectadas na mecânica estendem-se a outras áreas da Física, por exemplo, o eletromagnetismo, onde se aplicam conceitos anteriores como força e interações.

Conforme Furió e Guisasola (1999), as idéias dos estudantes, no que diz respeito a potencial, revelam que os mesmos pensam na diferença de potencial como uma consequência do fluxo de cargas, ao invés de pensar que é a sua causa. Os autores atribuem as dificuldades na aprendizagem de potencial a uma introdução do conceito puramente operativa e pouco

significativa para os estudantes, porque somente definem o aspecto quantitativo do potencial. No mesmo trabalho, os autores atentam para a dificuldade dos estudantes em pensar sobre a causalidade do movimento de cargas, e concluem que a não relação entre o conceito energético de potencial e o movimento das cargas é uma consequência da carência de significado deste conceito.

Segundo Viennot (1979) apud Mortimer (1996), “as idéias alternativas de crianças e adolescentes são pessoais, fortemente influenciadas pelo contexto do problema e bastante estáveis e resistentes a mudanças, de modo que é possível encontrá-las mesmo entre os estudantes universitários”.

Nos estudos sobre as concepções alternativas dos estudantes, aparecem duas características principais; primeiro, que a aprendizagem se dá através do ativo envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento; segundo, que as idéias prévias dos estudantes desempenham um papel importante no processo de aprendizagem.

Frente a esta visão de aprendizagem, surgiu um modelo de ensino para lidar com as concepções dos estudantes e transformá-las em conceitos científicos: o modelo de mudança conceitual. Como afirmam Posner, Strike, Hewson e Gertzog (1982, p. 211) apud Mortimer (1996), esse modelo foi proposto para descrever ou explicar “as dimensões substantivas do processo pelo qual os conceitos centrais e organizadores das pessoas mudam de um conjunto de conceitos a outro, incompatível com o primeiro”. Após várias críticas, alternativas a este modelo foram sugeridas.

Neste trabalho nos baseamos na visão de Greca e Moreira (2003) que sugere a mudança conceitual como “desenvolvimento, enriquecimento, evolução conceitual”:

Uma concepção pode ser imaginada como uma “nuvem” de significados adquiridos principalmente por assimilação, em desenvolvimento de tal modo que nenhum é eliminado, abandonado; estão todos sempre presentes, pelo menos de maneira residual. Significados aceitos e não aceitos são conscientemente discriminados segundo o nível de conhecimento que tem no contexto da matéria de ensino. Tanto os significados aceitos como os não aceitos estão presentes na concepção que está sendo usada, porém os usuários são capazes de discernir entre eles contextualmente.

O modelo de mudança conceitual proposto por Greca e Moreira (2003) é baseado na aprendizagem significativa no sentido utilizado por Ausubel e Novak (1983) apud Greca e Moreira (2003): “as concepções alternativas resultam de aprendizagem significativa, a evolução destas concepções só pode resultar de estratégias de aprendizagem significativa”.

Segundo Moreira (1999) “a aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo.”

A medida que ocorre a aprendizagem significativa, a concepção se desenvolve (progride) e aumenta o discernimento; significados já estabelecidos não são substituídos ou excluídos, eles podem ser menos utilizados, ou não utilizados, porém seguem presentes na concepção que progride (e fica mais rica), talvez escondidos em alguns significados residuais. (Greca e Moreira, 2003).

Neste artigo, apresentamos uma análise de um estudo piloto envolvendo o uso de simulações computacionais no ensino de conceitos de eletrostática, em especial de força, campo e potencial elétricos.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.

Neste trabalho, buscamos, prioritariamente, verificar se ocorre ou não evolução conceitual com o uso da metodologia integrada de combinar: simulações computacionais, atividades em dupla, complementar à sala de aula, e à utilização da técnica POE. Sendo assim, o trabalho assume uma postura quantitativa, pois o teste utilizado é de questões objetivas. Contudo, com o objetivo de enriquecer nosso estudo, realizamos também uma análise interpretativa das respostas dos estudantes durante a resolução do guia de simulação e em entrevistas.

Durante nossa análise, exploramos alguns conceitos e aplicações para o estudo de eletrostática, considerados por nós como principais: força eletrostática, princípio da atração e repulsão em situações de eletrostática, campo elétrico e potencial eletrostático.

O estudo piloto foi realizado em uma turma de doze alunos do terceiro ano do Ensino Médio da Escola Estadual Gastão Bragatti Lepage, na cidade de Candelária (RS).

A coleta de dados foi realizada através de questionários escritos, entrevistas e guia de simulação, que foram aplicados na seguinte ordem: pré teste, guia de simulação, pós teste e finalmente uma entrevista semi-estruturada.

Os instrumentos de coleta de dados utilizados na pesquisa consistem em: a) questões objetivas – para nossa análise quantitativa; e b) questões abertas (do próprio guia) e entrevistas semi-estruturadas. Na escolha do pré e do pós-teste, houve preocupação para que estes fossem concisos, a fim de não desmotivar os estudantes durante a execução das tarefas, ao mesmo tempo em que não deixasse de aferir o que nos propomos.

Para a escolha desses instrumentos de pesquisa, foram levadas em conta as concepções alternativas dos estudantes, de acordo com a literatura sobre dificuldades no ensino e aprendizagem de eletrostática.

O pré e o pós-teste são quantitativos e consistem em questões de múltipla escolha que foram escolhidas para a verificação dos conhecimentos iniciais e finais durante o período de intervenção, que ocorre por meio da simulação. As questões escolhidas para estes testes foram selecionadas do trabalho “Surveying students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism” (MALONEY, D.P.; O’KUMA, T.L.; HIEGGELKE, C.J.; HEUVELEN, A.V.; 2000), no qual os autores utilizam um teste composto de 32 questões, das quais 14 foram selecionadas e complementadas para utilização neste trabalho. As questões foram traduzidas e enviadas para dois professores-avaliadores, que atestaram a sua validade para aferir conhecimento em eletrostática.

Inicialmente, os estudantes tiveram aulas tradicionais sobre o conteúdo a ser discutido nas simulações. Em seguida, foi aplicado o pré-teste. Após o pré-teste, houve o período de intervenção, utilizando simulações computacionais, em dupla, e com o auxílio de um guia de utilização.

O pós-teste, de igual conteúdo do pré-teste, foi aplicado após o período de intervenção, a fim de verificar se houve uma evolução das idéias iniciais, tanto no que diz respeito aos conceitos principais, como nos conceitos envolvidos.

Desenvolvemos os instrumentos procurando focalizar situações de conflito cognitivo, as quais exigem o desenvolvimento dos conceitos envolvidos para serem resolvidas. Essas situações de conflito são atividades que permitem aos estudantes perceber que podem utilizar-se de pré-concepções para sua resolução, porém com certo grau de discriminação.

O pré e o pós-teste não tiveram duração estipulada para sua resolução. O teste foi realizado individualmente, a fim de obtermos uma análise mais concisa sobre as concepções de cada estudante. O intervalo de aplicação desses instrumentos foi de cinco dias. Durante esse intervalo de tempo, foi realizada a atividade de simulação computacional.

O guia de simulação é um roteiro composto por questões e procedimentos para que o

estudante realize a simulação e responda às questões propostas. O guia desenvolvido é baseado na metodologia P.O.E. – Predizer, Observar e Explicar (WHITE & GUNSTONE, 1992 apud TAO & GUNSTONE, 1999).

Na etapa de previsão, os estudantes devem prever e justificar o resultado de um evento específico. A observação é o passo seguinte da previsão. O estudante, seguindo o seu guia, simula no computador o evento correspondente à previsão. Nessa fase, pode ocorrer um conflito cognitivo entre a previsão e a resposta observada. Finalmente, na etapa de explicação, o estudante deve explicar discrepâncias entre sua previsão e a observação. Deste modo, a anuência dos estudantes em seguir a seqüência dos três itens (Previsão, Observação e Explicação) é de fundamental importância para o bom desenvolvimento da atividade. A aplicação do guia de simulação ocorreu no Laboratório de Informática da Escola. Para essa atividade, solicitou-se aos estudantes a formação de duplas, embora tenha ocorrido a formação de trios, devido ao número limitado de computadores disponíveis.

No guia de simulação informamos aos estudantes que são utilizadas simulações computacionais e que a metodologia para a resolução das questões propostas consiste em predizer, observar e explicar, explicitando cada uma dessas etapas. Essa metodologia tem revelado-se eficaz na utilização de simulações computacionais. A técnica POE é bastante eficaz, mas se o estudante não segue as etapas seqüencialmente a atividade perde a sua essência e, conseqüentemente, os estudantes também não atingem o resultado esperado em aprendizado. O maior problema que ocorre no trabalho é a curiosidade de observar a simulação antes da etapa de previsão e, assim o estudante torna-se incapaz de fazer uma previsão, pois já sabe qual é a resposta correta. Então, optamos por solicitar aos estudantes que sigam as etapas para que a atividade ocorra de forma frutífera. Em contrapartida, temos o cuidado de auxiliar os estudantes na execução da primeira seqüência do POE, para que os mesmos não se desmotivem por alguma insegurança em relação as atividades, aumentando sua ansiedade em responder “corretamente” a etapa de previsão, o que pode, naturalmente, fazer com que o estudante siga para a etapa de observação. Após a leitura introdutória, os estudantes partem para a resolução da etapa de previsão.

Após a aplicação do pós-teste, foram realizadas entrevistas semi-estruturadas, onde o estudante pôde explicar suas respostas e como chegou a determinadas conclusões, a fim de verificarmos os conceitos utilizados e suas idéias. Para que esta entrevista fosse válida, foram observados alguns cuidados, como não interferir na resposta do estudante.

A entrevista é uma maneira eficaz de auxiliar o entrevistador em descobrir as idéias prévias dos estudantes, pois como lembra Maria Eugênia D. Dominguez: “somente perseguindo as respostas de um aluno, que se iniciam com a formulação de uma pergunta sobre certa situação, é que se pode chegar a reunir informação suficiente que permita aproximar-se o máximo possível do que o estudante pensa dessa situação”( DOMINGUEZ, 1985).

As entrevistas não tiveram duração pré-determinada e foram transcritas. Assim, partimos de cada questão, que possui vários outros conceitos envolvidos além do principal, para determinar a evolução conceitual do conceito principal que é a resultante de todos os conceitos envolvidos. Sobre uma visão geral, a análise das evoluções de cada conceito principal, juntamente com os conceitos envolvidos, permite estabelecermos o(s) conceito(s) de maior dificuldade de compreensão e o(s) de maior facilidade de entendimento para os estudantes que realizaram a atividade computacional.

Podemos, portanto, sumarizar a nossa estratégia de análise em uma análise comparativa e interpretativa das respostas dos estudantes no pré e no pós-teste, de acordo com os conceitos principais previamente estabelecidos. Assim sendo, quando analisamos as respostas do pré-teste, adicionalmente utilizamos a etapa de previsão do guia de simulação. Ao analisarmos as respostas do pós-teste, observamos as respostas da etapa de explicação do guia de simulação. Dessa forma podemos, mais claramente, evidenciar se a atividade em grupo e a simulação influenciam no

conceito final do estudante. É importante salientarmos que a análise dos pré e pós-testes elucidada com bastante clareza a produção do estudante. A análise dos guias é apenas complementar, dado o tamanho reduzido de nossa amostra neste teste-piloto.

A área de pesquisa educacional do uso de tecnologias para o ensino de Ciências ainda é recente, e a maioria das pesquisas desenvolvidas tenta encontrar- caso seja possível- uma correlação positiva entre o uso das tecnologias e um melhor aprendizado (seja qual for a definição de aprendizado que o autor assuma). Uma vez que a área tenha um bom volume de resultados positivos, estudos mais rigorosos podem corroborar ou pôr em xeque o principal pressuposto da área: de fato as tecnologias podem contribuir para o aprendizado de ciências.

## A SIMULAÇÃO.

O programa utilizado para as simulações foi o software Modellus25BR. Este programa permite construir e explorar modelos matemáticos para o estudo de sistemas de vários gêneros. Os estudantes podem trabalhar com modelos previamente construídos, modificar os valores de parâmetros, os dados iniciais ou construir os modelos resultantes do aperfeiçoamento de esboços iniciais, além de permitir de forma rápida e fácil, construir gráficos e tabelas que descrevem o comportamento do modelo. Segundo Veit e Teodoro (2002):

Modellus, como outras ferramentas computacionais, permite ao usuário fazer e refazer representações, explorando-as sobre as mais diversas perspectivas. Deste modo, facilita a familiarização com essas representações, criando de certo modo uma intimidade entre aprendiz e representação, intimidade essa que muito dificilmente resulta da simples observação ocasional de equações e representações feitas pelo professor ou apresentadas nos livros.

No experimento 1 (figura 1a), o estudante visualizava duas cargas elétricas em um plano bidimensional, onde é possível alterar a distância e o valor das cargas, movimentá-las e verificar como se apresentava o vetor força elétrica.

No experimento 2 (figura 1b), o estudante visualizava um plano bidimensional onde se encontrava uma carga positiva geradora de um campo elétrico, ao movimentar uma outra carga, positiva ou negativa neste campo elétrico o estudante podia verificar o comportamento dos vetores força elétrica entre as duas cargas.

No experimento 3 (figura 1c), o estudante observava a aceleração constante de uma carga positiva ou negativa sujeita a um campo elétrico criado por outra carga positiva ou negativa, podendo ainda, movimentá-las.



Figura 1a.

Figura 1b.

Figura 1c.

**Figura 1 – Ilustração das simulações utilizadas. A primeira lida com os conceitos de força elétrica, a segunda e a terceira com o conceito de campo elétrico.**

## RESULTADOS:

A nossa estratégia de análise é composta de uma parte quantitativa, onde são verificados o número de acertos de cada questão, tanto no pré-teste como no pós-teste, a fim de fazermos uma comparação. E uma parte interpretativa, onde são analisados alguns casos particulares, tendo como auxiliares nesta análise, o guia de simulação e as entrevistas. Naturalmente, é impossível realizar-se uma análise estatística adequada dado o tamanho limitado da amostra neste estudo-piloto inicial. Contudo, é pertinente fazermos observações a respeito de algumas questões

Abaixo mostramos na tabela 1, o número de estudantes que obteve acerto em cada uma das questões do pré-teste e do pós-teste.

**Tabela 1: Número de estudantes que obteve resposta correta em cada questão do pré-teste e do pós-teste. As questões marcadas com um asterisco (\*) foram consideradas como possíveis evidências de evolução conceitual, a ser aferida na etapa de entrevista.**

QUESTÃO	PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
1	7	7
2	4	7 *
3	2	0
4	3	4
5	0	3 *
6	2	3
7	4	6
8	0	6 *
9	4	3
10	1	4 *
11	1	1
12	1	1
13	0	0
14	0	0

As questões 2, 5, 8 e 10 foram as questões que tiveram um resultado mais significativo na comparação pré-teste e pós-teste. A questão 2 tratava da força elétrica em uma carga  $4Q$  exercida por uma carga  $Q$ , após a realização do experimento 1, os estudantes puderam observar o comportamento dos vetores força elétrica, constatando serem de mesmo tamanho e evidenciando a aplicação da Terceira Lei de Newton. A questão 5 solicitava ao estudante representar vetorialmente a força elétrica entre uma carga de  $-2$  unidades e uma carga de  $+1$  unidade, do mesmo modo que na questão 2, realizando o experimento 1, os estudantes observaram a aplicação da Terceira Lei de Newton, o que resultou num melhor desempenho no pós-teste. A questão 8 perguntava como seria o movimento de uma carga positiva quando colocada numa região de um campo elétrico, após a realização do experimento 3, onde o estudante pôde observar a aceleração constante desta carga, o desempenho no pós-teste teve uma melhora significativa. A questão 10 utilizava um diagrama de um campo elétrico, onde os estudantes deveriam representar a força elétrica em uma carga negativa colocada num ponto  $P$  deste campo elétrico, com a realização do experimento 2 onde os estudantes podiam movimentar cargas num campo elétrico a observação do comportamento dos vetores, proporcionou uma evolução na idéia de direção e sentido da força elétrica entre cargas.

As questões 11, 12, 13 e 14 tiveram particular importância neste trabalho, por tratarem de situações onde envolvia potencial elétrico não obtiveram resultados significativos na comparação pré-teste e pós-teste, visto que não foram realizados experimentos que tratassem

diretamente de potencial elétrico, mesmo tendo sido trabalhado em sala de aula, ao não serem representadas na simulação, não foram apresentadas ao estudante da mesma forma. Assim, deve-se trabalhar efetivamente com todas as formas possíveis de se representar a eletrostática. Esta instância negativa do método serve, portanto, para corroborar nossos instrumentos de análise.

A questão 3 não apresentou evolução na comparação pré-teste e pós-teste, por tratar da relação quantitativa entre força e distância; relação esta quantitativa não foi explorada nas atividades de simulação, percebeu-se uma necessidade de realizar um experimento onde os estudantes pudessem “medir” a força elétrica.

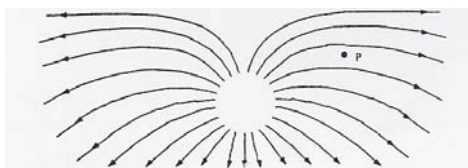
A análise interpretativa foi feita para alguns casos que foram classificados em: boa evolução, fraca evolução e casos particulares.

### ***BOA EVOLUÇÃO.***

Estudante J1: 2 respostas corretas no pré-teste e 6 respostas corretas no pós-teste.

Na questão 8 dos testes, perguntava-se qual seria o movimento de uma carga positiva quando solta num campo elétrico uniforme. A resposta do pré-teste foi que ela permaneceria em repouso em sua posição inicial e a resposta do pós teste foi que se moveria com aceleração constante. Percebe-se que este estudante não concebia campo elétrico como algo responsável pelo movimento de cargas elétricas, antes da realização do experimento 3 da atividade de simulação. No entanto, após a atividade, o estudante já evoluiu a idéia de campo elétrico como responsável pelo movimento de cargas.

Na questão 10 havia um diagrama representando um campo elétrico, como mostramos a seguir, a pergunta era: Qual a direção da força elétrica em uma carga negativa no ponto P?



**Figura 2 – Figura utilizada na questão 10 para se aferir a idéia de força elétrica do estudante em uma carga negativa situada em um ponto (P), segundo originada por um campo elétrico ilustrado.**

No pós-teste, após a realização do experimento 2, verificou-se que o estudante não apenas descreveu corretamente o sinal da carga que originava o campo, mas também o sentido das linhas de força de um campo elétrico gerado por cargas positivas ou negativas.

Podemos considerar que o estudante evoluiu a idéia de campo elétrico podendo identificar direção, sentido e sinal da carga que origina o campo, como demonstram as respostas do pós-teste relativas as questões 6 e 7 onde estavam representados campos elétricos e o estudante deveria identificar o que aconteceria à força elétrica. Após a atividade de simulação o estudante identificou corretamente a direção, o sentido e o sinal da carga que originava o campo. No entanto quanto à representação vetorial, o estudante declara: “Quando a carga é maior, a flecha é maior, quando se afastam aumenta o tamanho”. Dessa forma, estabelece uma relação correta entre módulo da carga que gera um campo e a representação vetorial do mesmo campo; contudo, tece uma relação errônea entre a distância da carga e o módulo do vetor campo elétrico em um ponto. Quando perguntado sobre a força elétrica entre cargas de mesmo sinal, respondeu: “É como um ímã, pólos positivos se afastam”.

### ***FRACA EVOLUÇÃO.***

Estudante E1: 1 resposta correta no pré-teste e 3 respostas corretas no pós-teste.

O estudante E1 durante toda a experiência não conseguiu evoluir a idéia de que duas cargas diferentes ao interagirem entre si estão sujeitas a diferentes intensidades de força elétrica. No entanto, o estudante conseguiu uma parcial evolução no que diz respeito ao movimento de cargas.

Na questão 5 dos testes, havia duas cargas de valores e sinais diferentes (A e B) e pedia para representar a força elétrica em A e em B, através de vetores. O estudante representou as forças com vetores de tamanhos diferentes tanto no pré, como no pós-teste. Este estudante não evoluiu a idéia de que se tratando de forças, podemos aplicar o princípio da ação e reação. Quando perguntado no guia de simulação sobre o comportamento de duas cargas positivas colocadas a uma distância qualquer, respondeu: “Que elas iriam se atrair.”

Na questão 8 onde o estudante deveria dizer como seria o movimento de uma carga positiva num campo elétrico uniforme, este estudante pensava que esta carga não se moveria (pré), no entanto no pós-teste, o estudante já concebe o campo elétrico como responsável por um movimento desta carga com aceleração constante. Explicou: “Quanto mais, longe aumentará a velocidade”. Denotando o fato da carga estar acelerando.

Estudante P1: 1 resposta correta no pré-teste e 3 respostas corretas no pós-teste.

O estudante P1 apresentou evolução na idéia de campo elétrico, pois na questão 7, onde estava representado um campo elétrico num plano bidimensional, o estudante soube descrever o que aconteceria à força elétrica num determinado ponto quando se acrescentasse uma carga a mais neste plano, o que não conseguia fazer antes do experimento 1. O mesmo tipo de evolução foi demonstrado na questão 10, já descrita anteriormente.

O estudante não apresentou evolução na idéia de potencial elétrico, logo, na questão 11, onde deveria descrever o movimento de um elétron que estava inicialmente numa posição onde o potencial era de +10V, este estudante não obteve êxito. De forma similar esta evolução não ocorreu na questão 14, onde o estudante deveria representar com vetores a força elétrica exercida num próton quando colocado num campo elétrico em duas posições de diferentes potenciais.

No entanto quando perguntado sobre a força de interação entre duas cargas de mesmo sinal, respondeu: “Não sabia que se repeliam, vi isto na simulação. Mas não sabia que o tamanho da flecha influenciava alguma coisa”. Quando perguntado sobre o movimento de uma carga sujeita a um campo elétrico, respondeu: “A carga do campo não se mexe, só a outra se move”. Ao descrever um campo elétrico disse ser “uma região onde tem uma carga, e quanto maior é a carga, maior é o campo elétrico”. Percebe-se que o estudante não apresenta uma evolução satisfatória para a idéia de campo elétrico, porém aquém do desejado. Quando se fala de movimento de cargas num campo elétrico diz: “Quanto mais longe do campo, mais devagar, quanto mais perto, mais velocidade”, o que evidencia assumir uma aceleração desta carga.

Estudante G1: 4 respostas corretas no pré-teste e 6 respostas corretas no pós-teste.

O estudante G1 apresentou evolução parcial na idéia de movimento de cargas num campo elétrico, como demonstrado nas questões 7, 8 e 10 já descritas anteriormente. Perguntado sobre o movimento de uma carga num campo elétrico, explicou: “Vi na simulação que quando a gente coloca uma carga num campo, ela se move, e vi que a distância influencia na velocidade, mas não sei se é para mais ou para menos”.

Percebe-se que o estudante não concebe a idéia de vetor como representação da força elétrica, pois na questão 5 onde deveria representar com um par de vetores a força de interação entre uma carga de -2 unidades e uma carga de +1 unidade, representou-as com um par de vetores de tamanho diferente tanto no pré como no pós-teste, no entanto no pós-teste já apresentou alguma evolução, pois representou o par de vetores de forma a simbolizar uma atração das cargas, o que não ocorreu no pré-teste.

#### CASO PARTICULAR

Estudante D1: 4 respostas corretas no pré-teste e 4 respostas corretas no pós-teste.

Quando perguntado sobre como ficará o vetor campo elétrico ao movermos uma carga de prova positiva numa região onde existe um campo elétrico gerado por outra carga positiva, o estudante respondeu: “As cargas vão se repelir, o campo elétrico da carga maior exercerá uma força sobre o outro.”

De forma semelhante, em questões que pediam para representar a força elétrica com vetores, este estudante desenhava vetores de tamanhos diferentes para cargas de valores diferentes.

Em questões onde uma carga era atraída na direção de um campo elétrico, este estudante descrevia este movimento como: “O campo elétrico vai atrair a carga em sua direção e a aceleração será constante até o ponto do campo elétrico. Achei que quando a carga chegasse no campo ela entraria em repouso, mas ela passou pelo campo elétrico.” Vemos aí uma idéia de campo elétrico como uma região limitada, enquanto se tratando de força elétrica, o estudante não vê força como interação, mas algo próprio de cada carga, independente de outra carga. Esta concepção aparece também em outros trabalhos, como supracitado.

Quando perguntado sobre como seria o movimento de uma carga que está se afastando de outra, o estudante respondeu: “Quando a distância é muito grande, e a força é muito pequena, a velocidade vai diminuindo e a carga pára por causa do seu peso.”

Nesta declaração também temos indícios da visão de campo elétrico limitado, porém também temos indícios de uma visão de campo elétrico como origem da força elétrica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Nossa atividade, mesmo se tratando de uma atividade-piloto e de curto espaço de tempo, proporcionou para a maioria dos estudantes a capacidade de reconhecer que o tamanho da “flecha” indicava força maior ou menor. Dessa forma, a representação vetorial passa a ser considerada como parte do seu discurso durante a explanação de fenômenos elétricos. Este é um ganho interessante que o uso de simulações pode proporcionar.

Uma vez observado o comportamento de duas cargas, os estudantes relacionam a terceira lei de Newton com fenômenos eletrostáticos, e alguns até mesmo conseguem a aplicar o princípio da ação e reação também para a força entre cargas. Nas questões que envolviam alguma operação vetorial verificou-se que poucos alunos tiveram alguma evolução, visto que por vezes tomavam o vetor força elétrica pelo vetor velocidade. E, finalmente, nas questões que possuíam potencial elétrico como um elemento suplementar, verificamos que nenhum estudante obteve êxito no pós teste, o que muito provavelmente deva-se ao fato de não realizarem um experimento específico para potencial. Como toda concepção alternativa, existe uma grande resistência à evolução da idéia de campo elétrico limitado. É pertinente repensar uma forma de provocar esta evolução, e a reformulação dos experimentos de simulação torna-se necessária. Outra falha constatada nos experimentos de simulação foi o fato de representarmos um campo elétrico originado por uma carga fixa, pois o estudante verificou que ao colocarmos outra carga próxima, só uma delas se movia. A falha mais comprometidora de todos os experimentos realizados foi o fato da simulação já estar rodando quando os estudantes iniciavam a tarefa.

No entanto, de uma forma geral, podemos concluir que a utilização da simulação computacional obteve resultados positivos, dado os resultados – quiçá não passíveis de um tratamento estatístico – dos pré e pós testes, que não obstante sofreram uma instância confirmadora durante a análise interpretativa dos guias e das entrevistas. Sendo assim, o potencial de uso de simulações para ensino de conceitos de campo e força em eletrostática aparenta ser bom para a área de ensino de física.

## REFERÊNCIAS:

DOMINGUEZ, Maria Eugênia D. *Detecção de alguns conceitos intuitivos em eletricidade através de entrevistas clínicas*. Porto Alegre: UFRGS, 1985. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985.

- ESQUEMBRE, F. Computers in physics education. *Computer Physics Communications*, v.147, p. 13-18, ago. 2002.
- FURIÓ, Carles; GUIASOLA, Jenaro. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en eletrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las ciencias*, v. 17, n. 3, p. 441-452, 1999.
- GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría Del aprendizaje significativo. *Revista Ciência e Educação*, v. 9, n. 2, p. 301-315, 2003.
- MALONEY, David P.; O'KUMA, Thomas L.; HIEGGELKE, Curtis J.; HEUVELEN, Alan Van. Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *Phys. Educ. Res., Am. J. Phys. Suppl.*, v. 69, n. 7, jul. 2001.
- MARTIN, José; SOLBES, Jordi. 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.
- MEDEIROS, A. & MEDEIROS, C. F. Possibilidade e limitações das simulações computacionais no ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 2, p. 77-86, jul. 2002.
- MOREIRA, Marco Antonio. A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. In: MOREIRA, Marco Antonio. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999. P. 151-165.
- MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? *Investigação em ensino de ciências*, v. 1, n. 1, 1996.
- POSNER, G.; STRIKE, K.; HEWSON, P. & GERTZOG, W. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, p. 211-227, 1982.
- REIS, M. A. F. *Uso de simulações computacionais no ensino de colisões mecânicas*. Canoas: ULBRA, 2003. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Luterana do Brasil, 2003.
- VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no Ensino/Aprendizagem de Física e os Novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.24, n. 2, jun. 2002.
- WHITE, R. T. & GUNSTONE, R. F. *Probing undersyanding*, London: Falmer, 1992. Citado em: 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*, 37, p.859-882, 1999.