

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

**Departamento de psicologia
PÓS-GRADUAÇÃO EM PSICOLOGIA**



ARTHUR GALAMBA FERNANDES ABREU

**Análise psicológica do campo conceitual
de campo de forças no ensino médio.**

RECIFE

2006

ARTHUR GALAMBA FERNANDES ABREU

**Análise psicológica do campo conceitual
de campo de forças no ensino médio.**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Psicologia Cognitiva da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Psicologia.

Área de concentração: Psicologia Cognitiva.
Orientador: Prof. Dr. Jorge Tarcísio da Rocha Falcão.

RECIFE

2006

Galamba, Arthur

Análise psicológica do campo conceitual de campo de forças no ensino médio / Arthur Galamba Fernandes Abreu – Recife: O Autor, 2006.

182 folhas : il., tab., graf.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Psicologia Cognitiva. Recife, 2006.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Psicologia cognitiva. – Psicologia escolar. – Aprendizagem. 2. Campo conceitual. 3. Campo de forças. 4. Ensino médio. – Ensino de física. 5. Pernambuco. – Recife. – Rede privada.. I. Título.

		CDU	
159.953.5	(2.ed.)		UFPE
	154.3	BCFCH20
	CDD(22.ed.)		07-16

FOLHA DE APROVAÇÃO

Arthur Galamba Fernandes Abreu

Análise psicológica do campo conceitual de campo de forças no ensino médio.

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Psicologia Cognitiva da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Psicologia.

Aprovado em: 31 de maio de 2006

Banca examinadora

Prof. Dr. Jorge Tarcísio da Rocha Falcão

Instituição:UFPE

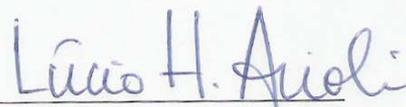
Assinatura:



Prof. Dr. Lucio Hora Acioli

Instituição:UFPE

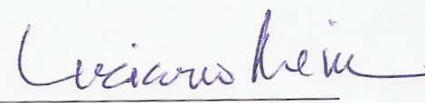
Assinatura:



Prof. Dr. Luciano Rogério de Lemos Meira

Instituição:UFPE

Assinatura:



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Clélia Galamba, exemplo de mulher, mãe e ser humano do tipo que o mundo anda precisando cada vez mais urgentemente.

AGRADECIMENTOS

Nesta seção de agradecimentos gostaria de quebrar qualquer protocolo e poder falar da maneira mais natural que posso, a começar, usando o verbo na primeira pessoa.

A decisão de fazer uma pós-graduação em psicologia começou com um bom papo que tive há uns 4 anos com meu tio Clylton Galamba, onde discutíamos o que eu deveria fazer pra continuar meus estudos, já que me sentia muito distante da universidade após me graduar. Posso dizer que Clylton representa pra mim um grande professor das coisas da vida e não foi difícil pra ele me convencer que deveria procurar Prof. Jorge Falcão pra conversarmos sobre essa possibilidade. Jorge tem o dom de, numa conversa de meia horinha, fazer a gente acreditar que somos capazes de conquistar mais coisas que achávamos ser. Nada do que a gente diz é totalmente perdido, sempre tem um ganchinho que pode salvar o que a gente disse. É de pessoas assim é que a gente gosta de estar por perto e sem dúvidas essa foi uma das razões que queria tê-lo como meu orientador. Obrigado aos dois, Clylton e Jorge, que num trabalho conjunto me despertaram a vontade de tomar mais conhecimento da cognitiva e a Jorge por ter aceitado ser meu orientador. Todas as nossas conversas sempre me foram muito importantes.

O trabalho conjunto de todos os professores dessa pós é que a torna uma pós de excelência. Mas queria agradecer especialmente a Alina, Selma, Jorge e Luciano por terem, enquanto meus professores, sempre se mostrado muito comprometidos com seus trabalhos dentro e fora de sala de aula, independente do descaso com a universidade pública que se tem feito há 12 anos pelo governo federal. Eram as melhores aulas. Quero constar que Luciano Meira foi meu professor no fundamental 1. Que coincidência! Naquele tempo ele não puxava tanto minha orelha como fez nesse mestrado. Obrigado aos quatro!

Marina, minha companheira, meu amor. Este trabalho também é um pouco seu. Tem você aqui dentro sim. Afinal, não foram poucas as vezes que estive aqui, diante do computador, querendo trocar as letras “s.p.s.s.” por “m.a.r.i.”. Mas como eu já esperava dela, sempre foi compreensiva e companheira. Seja por ter tido que voltar mais cedo de uma festa, seja por ter que se isolar do mundo pra termos sossego pra estudar, por participar de conversas sobre ensino de física por horas ou por me dar colo quando não se agüentava mais, obrigado Cota, por ter estado do meu lado em todo esse tempo.

Na minha casa só tem um computador. E ele não é meu, é da família. Minha mãe, minhas irmãs, meus cunhados, minha namorada também precisam dele. Obrigado gente por ter me deixado com a porta trancada por tanto tempo com o computador só pra mim. Obrigado Clélia. Você é uma das pessoas mais sábias que eu poderia conhecer na vida. Ela tem o dom da fazer parecer que tudo o que faz pros filhos é algo fácil de ser feito e que não dá tanto trabalho assim, pois como ela mesmo diz, “o amor é incondicional”. E veja só que coincidência, essa pessoa é minha mãe!

Posso dizer que uma conversa que tive em 1995 me fez hoje estar aqui. Esta conversa foi com o meu eterno professor Rogério Porto. Na ocasião estava eu dizendo ao meu professor de terceiro ano que queria ser professor de física. Não demorou muito e recebi um telefonema dele me oferecendo aulas. Foi ali que tudo começou. Rogério é o meu exemplo de professor de física e de pessoa que trabalha em prol de um ensino sempre melhor. Como sempre, foi extremamente solícito a todas as dúvidas que tive ao escrever sobre ensino de física, falando-me de textos, livros e artigos que já tinha lido e que poderiam me ajudar. Mesmo não sendo oficial, ele foi meu co-orientador nesse mestrado. Obrigado, Roger! Um dia, quando crescer, quero ser igual a você.

Por fim, queria muito agradecer à direção e aos coordenadores do colégio que permitiram todo o trabalho ser desenvolvido com aplicação de testes e avaliações,

muitas vezes interferindo na programação normal da escola. Muitíssimo obrigado a todos(as) os(as) alunos(as) que participaram desta pesquisa. Eles são, sem dúvida, a peça mais importante deste trabalho, porque foi através deles e para eles que esse trabalho existiu. Obrigado aos professores Alexandre Medeiros, Luis Augusto e a Argus por terem me dado toda ajuda que pedi e a todos os professores que participaram da banca de avaliação desta dissertação.

RESUMO

GALAMBA, A. **Análise psicológica do campo conceitual de campo de forças no ensino médio**, 2006. 182f., Projeto de dissertação de Mestrado, Departamento de Psicologia, Curso de Pós-Graduação em Psicologia, Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

A presente pesquisa buscou explorar a organização conceitual acerca do campo conceitual de campo de forças em alunos de física do ensino médio, em escola da rede privada da cidade de Recife. Com tal objetivo geral foi proposto um rol de atividades destinadas à exploração dos diversos campos conceituais que estes alunos levam consigo para sala de aula antes de terem qualquer instrução formal sobre campo de forças, em especial campo elétrico, buscando-se estabelecer ligações entre tais organizações conceituais com resultados satisfatórios e dificuldades de aprendizagem, apresentadas por estes alunos ao final de um curso formal de campo de forças através de uma avaliação. Os dados obtidos indicam que existe uma relação identificável entre conceitos físicos estudados por alunos no primeiro ano do ensino médio que contribuem para o aprendizado do conceito de campo de forças, em especial, campo elétrico. Tais resultados fornecem subsídios para a continuidade da pesquisa em ensino de física voltada para a proposição de ambientes didáticos voltados para o ensino de campo de forças em geral, e especialmente, campo elétrico.

Palavras-chave: Campo conceitual; campo de forças; ensino de física.

ABSTRACT

GALAMBA, A. **Psychology analysis of conceptual field of force fields within secondary school**, 2006. 182f., Projeto de dissertação de Mestrado, Departamento de Psicologia, Curso de Pós-Graduação em Psicologia, Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

This research tried to explore the conceptual organization about the conceptual field of force field within high school students of physics at a private school located in the city of Recife-Brazil. In order to achieve our aim, a list of activities was outlined to explore all different conceptual fields these students bring themselves to the classroom before have any formal instruction about force field, specially electric field, trying to establish connections between these conceptual organizations with positive results and difficulty on learning expressed for these students at the end of a formal course of force field through an assessment. The results indicate an identifiable link between physics concepts learned by students in the first year of high school that contribute for the learning of the concept of force field, specially, electric field. Such results give subsidies for the continuity of the research in physic teaching turned to the proposition of didactic area turned to the teaching of force field in general, and specially, electric field.

Key-words: Conceptual field, Force field, physics teaching.

SUMÁRIO

Capítulo 1 - introdução	10
1.1 Considerações preliminares	10
1.2 Enquadre teórico do processo psicológico de conceptualização	13
1.2.1 Modelos e representações mentais	13
1.2.2 A teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud	19
1.2.3 Considerações adicionais acerca das noções teóricas de esquema e invariantes operatórios	21
1.2.4 Considerações adicionais acerca da noção teórica de campo conceitual	24
Capítulo 2 – Campo de forças: alguns aspectos epistêmicos e psicológicos a considerar	29
2.1 Dos laboratórios à sala de aula: alguns aspectos relacionados a currículos e programas de ensino de campo de forças no nível médio	34
2.2 Campo conceitual psicológico e campo conceitual epistemológico de campo de força	39
2.3 Ensino de física: alguns dados de pesquisa disponíveis	51
Capítulo 3 - Metodologia	59
3.1 Objetivos e justificativas desta pesquisa	59
3.2 Ecologia da pesquisa	60
3.3 Abordagem e procedimento em sala de aula	62
3.4 Procedimento	64
3.5 Caminhos percorridos	65
3.6 Respostas e comentários das questões do questionário	69
Capítulo 4 - Resultados	93
4.1 Respostas e comentários das questões da avaliação	93
Capítulo 5 – Considerações finais e conclusões	148
Referências	156
Apêndices	160

Capítulo 1

Introdução

1.1. Considerações preliminares

No ensino médio, é muito comum os professores terem que trabalhar com turmas muito heterogêneas. Turmas de 50, 60, 90 alunos na sua maioria entre 14 e 18 anos, com anseios, sonhos e preocupações que, tendo em vista a trajetória escolar até então, normalmente passam longe do interesse no estabelecimento de vínculos entre os conteúdos de sala de aula (em qualquer disciplina) e os fenômenos naturais, sócio-culturais e históricos que as rodeiam na escola e fora dela. No caso específico do ensino de ciências, e especialmente em física, muito esforço tem sido feito na intenção de se fazer um ensino mais eficiente, atraindo a atenção dos alunos para a suposta beleza e interesse desse domínio de conhecimento, como demonstra a publicação de inúmeros artigos, livros, além de simpósios, cadernos, conferências e encontros, como exemplo, investigação em ensino de ciências, caderno brasileiro de ensino de física, física na escola, revista brasileira de ensino de física, simpósio nacional de ensino de física (SNEF), encontro de físicos do norte nordeste (EFNNE), encontro de pesquisa em ensino de física (EPEF), entre outros. No Brasil, os grupos de pesquisa em ensino de física, como o grupo de reelaboração do ensino de física (GREF) servem de exemplo para as demais disciplinas, mostrando seriedade, organização e resultados. Sabemos, entretanto, que ainda estamos a uma distância muito grande de um ensino de física que poderíamos considerar bom. Como exemplo, no último

Pisa¹⁰ o Brasil obteve em matemática, disciplina intimamente ligada à física, 356 pontos, o que deixa o Brasil abaixo do nível 1, enquanto que a Finlândia, país mais bem colocado, atingiu nível 4.

Ensinar ou mediar a aprendizagem de um conceito sempre foi uma tarefa complexa. Todavia, está claro que o trabalho do professor está se tornando mais difícil, segundo pesquisa recente sobre a atual situação básica no Brasil (Zagury, 2006), como pouca dedicação e falta de respeito dos alunos com os professores. A escola não é um dos grandes atrativos dos jovens alunos e só se sustenta por ainda ser o caminho institucional que o jovem é pressionado a escolher de forma a manter suas aspirações de lugar sócio-econômico na sociedade capitalista ocidental, ou mesmo ascender rumo a um patamar acima de seu status familiar de origem. Não obstante, os apelos que a mídia faz através da Internet e televisão, oferecendo consumo de moda, sexo, jogos, filmes, entre tantos outros têm tomado mais a atenção dos alunos que o mundo da escola. Estar em sala de aula é, ainda mais hoje em dia, um prazer de poucos.

Tendo nas mãos um arsenal de instrumentos teóricos e experimentais que foram acumulados [principalmente] nos últimos trezentos anos pela física, processo do qual resultou o chamado *mundo físico*, como uma forma *particular* de ver o mundo (Pietrocola, 2001), o professor desta ciência se vê numa tarefa complexa, encurralado entre esses dois mundos onde se insere o aluno: o escolar e o extra-escolar. De um lado tem-se a maneira particular do aluno ver o mundo. De outro, a forma como a física o vê.

O desafio didático-pedagógico seria, então, mediar o estabelecimento de “pontes” entre tais mundos, possibilitando aos alunos se apropriarem e levarem consigo, pela vida afora e para além do contexto especificamente escolar, esta opção de visão de mundo. Desafio não vencido. Basta verificar que, ao término das avaliações, os alunos rapidamente

¹⁰ Programa internacional de avaliação de alunos

esquecem o que foi “aprendido”¹¹. O aprendizado da física termina por acontecer no âmbito de um *contrato didático* (Schubauer-Leoni e Perret Clermond, 1985; 1997) peculiar, envolvendo uma espécie de acordo tácito entre as partes, onde o objetivo é obter sucesso nas avaliações. Embora muito bem estabelecidas, muitas destas regras precisam ser tácitas. Caso contrário, perderiam sua efetividade (Pietrocola, 2001).

De que maneira, então, poderia a psicologia cognitiva ajudar a tornar esse ensino mais eficiente? Como criar essas “pontes” entre mundos extra-escolares e formais-escolares e assim facilitar o processo de ensino e aprendizagem? Que aspectos do conhecimento acumulado pela psicologia cognitiva poderia e/ou deveria ser do interesse dos professores de física? Em que ela pode ajudá-los a compreender as dificuldades de seus alunos?

A principal motivação do presente trabalho de pesquisa é o aluno em seu processo de articulação, significação e ressignificação de conceitos em contexto de aprendizagem escolar. Queremos ter mais clareza acerca do que sabem nossos alunos, como compreendem os conceitos ensinados pelos seus professores de física, o que os prejudica ou atrapalha no aprendizado de algo novo: o que é de fato aprender algo novo¹², que conceitos são mais relevantes na aprendizagem de determinado conceito e onde devemos ter mais cuidado e despendermos mais tempo e energia quando estamos em sala de aula ensinando algum conceito. Sabemos que a lista de aspectos relevantes a abordar na reflexão acerca da melhoria da educação científica é longa e que não termina aí. Mas sabemos igualmente que nós, professores de física, não queremos mais “atirar no escuro”, agir intuitivamente ou negar a extensão do problema. Queremos conhecer melhor quem

¹¹ Aspas nossas. Perguntamo-nos se algo que foi tão rapidamente esquecido foi efetivamente aprendido.

¹² No nosso caso, queremos saber o que é de fato aprender campo de forças, conforme será discutido em detalhes mais adiante.

está diante de nós nos escutando em nossas aulas, para termos um pouco mais de consciência sobre o que estamos fazendo em sala de aula.

Este trabalho optou por buscar subsídios adicionais para o enfrentamento do processo de aprendizagem do conceito de campo de forças, com ênfase em campo elétrico. Esta opção não foi por acaso. Além do conceito de *campo* ter papel central na física contemporânea, sendo peça fundamental do chamado universo físico (Robilotta, 1985), o conceito de campo elétrico por sua vez sempre foi caracterizado por grande dificuldade de aprendizado, como se refere Magalhães. M (2002), que se reflete no desempenho escolar e na atitude de repúdio e desinteresse de muitos alunos. Para o atingimento deste objetivo geral, propomos determinado enquadre teórico, explicitado na seção seguinte.

1.2. Enquadre teórico do processo psicológico de conceptualização

1.2.1. Modelos e representações mentais

No transcorrer de toda uma vida, indivíduos prestam atenção em fatos do seu cotidiano, sejam eles de natureza social, política, ambiental, biológica, de natureza dos fenômenos naturais, químicos ou qualquer outro fenômeno, que por alguma razão lhes atraia a atenção. Ao refletir sobre estes fatos, fazem-se conexões com aprendizados passados e tenta-se chegar a conclusões coerentes com o que se observa. O tempo passa e, com boas chances, esses indivíduos vão se defrontar novamente com fatos que os farão refletir sobre as mesmas questões antes pensadas, porém agora com mais recursos conceituais, mais “ferramentas” que lhes permitirão dar mais um passo adiante na solução de suas inquietações. Este contínuo processo de compreensão que fazemos do mundo a

nossa volta pode ser compreendido através do conceito teórico de modelos mentais. Através deles podemos fazer inferências e previsões, manipulando-os numa forma de simulação mental (Borges, 1998). Segundo Norman, (Norman,1983 apud Borges 1998), os modelos mentais, para a ciência cognitiva, são usados para caracterizar de que maneiras as pessoas compreendem os sistemas físicos com os quais interagem.

Modelos e modelização são palavras especialmente relevantes em ciências, especialmente em física. Toda a física é construída sobre modelos. É através dessas “marionetes” que se comportam tal qual a natureza, que os físicos conseguem prever e controlar o futuro. E é também através de modelos (mentais e conceituais) que os professores transmitem o que sabem a seus alunos. Os *modelos conceituais* tentam ser logicamente claros e especialmente desenhados para facilitarem o aprendizado (Greca & Moreira (a), 1998). Eles são, por exemplo, encontrados nos livros e diferem dos *modelos mentais*. Segundo Barquero, um modelo mental seria:

Um tipo de representação do conhecimento implícita, incompleta, imprecisa, incoerente com o conhecimento normativo em distintos domínios, porém útil, já que resulta numa potente ferramenta explicativa e predicativa na interação dos sujeitos com o mundo e uma fonte fiel de conhecimento, por derivar de sua própria experiência perceptiva e manipulativa deste mundo. (BARQUERO, 1995, op. cit., p.12 apud Greca & Moreira (a), 1998)

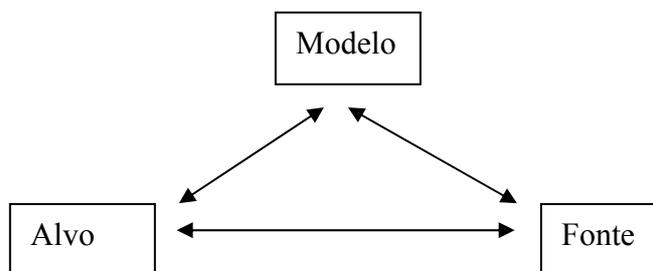
Ao ter contato com um modelo conceitual exposto por um livro de física, dois alunos distintos formulariam modelos mentais próprios e diferentes. Mesmo sendo incompletos, instáveis e não terem fronteiras bem definidas, os modelos mentais são funcionais para o sujeito. Sua principal função é permitir a seu construtor explicar e fazer previsões a respeito do mundo físico apresentado (Greca & Moreira (a), 1998). Por exemplo, observe a descrição que se segue: “imagine que uma pessoa estivesse retratando a outra pessoa como era sua moradia na infância. Imagine que fosse uma casa branca, com

dois pavimentos num bairro bem arborizado. Na frente da casa havia um jardim, de grama baixinha e jarros de plantas encostados no muro distanciados de mais ou menos 1 metro, de uma forma que quase não dava pra ver o muro. Ao entrar na casa tinha-se a sala de estar, onde do lado esquerdo havia um sofá verde para três pessoas e do lado oposto uma televisão antiga, daquelas de imagem preto e branca, sobre um criado mudo. Do lado esquerdo ficava a cozinha, que era enorme, onde havia uma mesa de tampo branco e cinco cadeiras ao redor. A casa era de três quartos, todos na parte de cima da casa...” Bem, essa descrição poderia continuar indefinidamente, sempre traduzindo cores, disposição e dimensões dos mais variados ambientes e objetos que a casa tivesse. Essa descrição poderia ser tão bem feita que essas duas pessoas poderiam começar a falar da casa como se ambas conhecessem a casa. A pessoa que ouvia a descrição criou um ambiente que foi construído a partir de experiências na sua vida que ocorreram no passado, como a casa antiga de um parente ou um sofá verde de um filme ou uma mesa redonda numa vitrine de uma loja. Com plena convicção, podemos afirmar que a casa que existe “na mente” da pessoa que ouvia a descrição, ou melhor, o modelo mental da casa criado pela pessoa que ouvia é diferente da casa “real”, e mais ainda, é diferente da casa que existe “na mente” da pessoa que descrevia a casa. Porém, independentemente disso, essas pessoas podem discutir sobre a casa, referindo-se a ambientes, móveis espaços etc. de forma a se entenderem e isso tudo acontecer com cada um usando seu modelo mental., com a sua forma particular de “ver” a casa.

A partir da contribuição construtivista (notadamente piagetiana, conforme Piaget, 1973; 1976; 1990), é amplamente aceito que só apreendemos algo novo em termos daquilo que já conhecemos. Na tentativa de darmos explicações para determinada novidade em termos de conhecimento, buscamos apoio em situações que já conhecemos e compreendemos, que nos são familiares e que dominamos a fim de criarmos alguma

relação por meio de analogias. Borges, 1998 cita que em trabalhos sobre concepções alternativas dos estudantes conduzidos nas duas últimas décadas, as analogias têm papel importante, visto que os modelos mentais nascem a partir destas analogias. Novas formas de ensino têm tentado com êxito uma aproximação dos esquemas conceituais dos estudantes com as concepções científicas que são atualmente aceitas. Isto tem dado lugar à proposta que basicamente assume a aprendizagem como *construção ativa* do novo conhecimento por parte do aprendiz que, necessariamente tem que partir do seu conhecimento anterior (Furió e Guisasola, 2001). O esquema 1 abaixo ilustra este processo a partir de um sistema fonte (o conhecido) como ponto de partida para a assimilação de um sistema desconhecido (alvo).

Numa analogia material, é o conjunto de entidades e propriedades que descrevem o sistema fonte que serve de base para a compreensão do sistema alvo. Numa analogia formal é uma estrutura abstrata de relações que serve de modelo para entender o domínio não familiar. A estrutura relacional que descreve o sistema fonte permite-nos construir uma representação para compreender o sistema desconhecido. (BORGES, 1998, p. 8)



Esquema 1 : elementos básicos constitutivos de uma analogia material (cf. Borges, 1998)

Como exemplo de uma analogia formal, temos o modelo do átomo de Rutherford, construído a partir de uma analogia com o sistema planetário: planetas-elétrons que giram ao redor do Sol-núcleo. Neste caso, o tamanho e a massa dos objetos em questão não têm a menor importância. Um modelo como o de Rutherford pode ser definido como a representação socialmente compartilhada de um objeto ou uma idéia, de um evento ou de

um processo. Já um modelo mental é uma construção de caráter híbrido, contendo elementos da cultura e aspectos idiossincráticos referentes ao processo de elaboração específica do indivíduo. Ou seja, só podemos falar em modelo mental de um usuário. São através desses modelos mentais que podemos realizar experiências de pensamento e processá-los como se fossem externos. Várias pesquisas mostram que as inferências que as pessoas fazem têm ligação direta com o modelo adotado (Borges, 1998).

Temos, portanto, os modelos mentais como algo idiossincrático (o que não significa desconexão com o contexto cultural em que o sujeito vive) e que são usados pelas pessoas para compreender o mundo e seus sistemas físicos. Observe o leitor que no desenrolar de uma vida, muitas experiências de pensamento são realizadas, seja conscientemente, numa reflexão mais objetiva na tentativa de solucionar uma determinada situação problema, ou inconscientemente, que podem gerar conexões entre observações passadas e as que o sujeito está vivenciando, de maneira rápida e de pouca importância conclusiva para o momento. Este somatório de situações combinadas com reflexões é exclusivo de cada sujeito. Afinal, não há como ter dois sujeitos expostos às mesmas situações, com a mesma ordem cronológica, e ainda terem feito as mesmas reflexões, conexões ou análises e sínteses sobre o que experimentaram. Portanto, quando é oferecido um novo conceito a dois ou mais sujeitos, eles não só vão ter interesses diferentes sobre este conceito, mas também vão entendê-los de maneiras diferentes.

O mundo, por ser tão heterogêneo, oferece às pessoas diversas áreas de conhecimento diferentes. Estas pessoas que têm ou podem vir a ter interesses por artes, música, filosofia, matemática, política, ecologia entre tantas outras áreas de conhecimento, constroem, cada uma, seu próprio mundo interior e entendem as coisas da vida da sua maneira em particular. O professor, que tem como função principal mediar a construção, por parte de indivíduos-alunos, do conhecimento sócio-culturalmente compartilhado,

precisa ter clareza deste processo, considerando que ali, nos seus alunos, há uma heterogeneidade esperando pelo que ele vai dizer e explicar (não obstante um fundo de cultura comum, decorrente do fato daquele grupo ter-se banhado em contextos biográficos próximos). E para que ele consiga transmitir o que quer que seja com a clareza desejável ao maior número possível de alunos, precisa partir de uma formulação conceitual que contemple o máximo possível de aspectos comuns no espectro de possibilidades do seu grupo de alunos. Em geral, quando se pergunta ao professorado qual o principal motivo do fracasso da aprendizagem significativa do conceito de campo, a resposta mais comum é a de que “os alunos não têm base”. Este parece ser um “pensamento espontâneo” dos professores. Mesmo sabendo da pouca preparação do alunado, não podemos colocar toda a responsabilidade deste fracasso neles.

Como professores também podemos nos perguntar: que tipo de ensino deveríamos dar para que a maioria de nossos alunos seja capaz de aprender de forma significativa o conceito de campo elétrico? Não podemos duvidar que uma das variáveis que mais influenciam na aprendizagem de conceitos é a forma de ensiná-los (Furió & Guisasola, 2001, p.320)

A compreensão, por parte do professor, do processo de construção dessas representações tem implicações educativas claras (Greca & Moreira (a), 1998), pois se sabemos como são adquiridos, podemos desenvolver métodos que facilitem sua aquisição.

1.2.2. A teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud

Dentre as diversas teorias voltadas para a conceptualização, optamos e utilizaremos aqui a teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud como referencial teórico para explicar aspectos importantes em ensino de ciências e para compreender e explicar o processo de conceptualização no âmbito do campo conceitual de *campo de forças* (Vergnaud, 1990). Alguns aspectos desta abordagem teórica a tornam especialmente indicada para oferecer respaldo teórico aos objetivos desta dissertação:

- a) *Especificação dos processos de aprendizagem em termos do tipo de conteúdo aprendido*: trata-se aqui do que Vergnaud denomina de *Teoria da Referência* no âmbito mais geral da abordagem do processo de aprendizagem. Segundo tal proposição, os processos de aprendizagem referem-se sempre à aprendizagem *de alguma coisa*, de algum domínio epistêmico específico. Nesse sentido, a aprendizagem de conceitos da física, da matemática, da biologia ou de qualquer domínio epistêmico escolar ou extra-escolar não pode prescindir de uma análise das dificuldades inerentes a este domínio, muitas vezes de cunho histórico e relacionadas aos paradigmas científicos vigentes (Kuhn, 1978).
- b) *Organização psicológica dos conceitos*: para Vergnaud, os conceitos apóiam-se necessariamente em invariantes lógico-operatórios, mas não podem ser compreendidos em sua funcionalidade sem o concurso de representações simbólicas e de situações de referência onde são mobilizados como ferramentas cognitivas. Em função de tal prescrição é proposta a fórmula $C = f(I, R, S)$: o conceito como entidade psicológica é função de invariantes lógico-operatórios (I), representações tornadas disponíveis pela cultura (R) e situações significativas de uso no contexto da cultura (S). Tal tripé de componentes de fato é válido não

somente para os conceitos como também para organizações cognitivas pré-conceituais, o que leva Vergnaud à proposição da noção teórica de *esquema* (conceitual ou pré-conceitual), definido por ele como “organização invariante da conduta para uma classe limitada de situações”, tal organização podendo ser de natureza conceitual (quando dispõe de representações suficientemente explícitas) ou pré-conceitual, no caso de esquemas do tipo “competências-em-ação”.

- c) *Organização dos conceitos em campos conceituais*: finalmente para Vergnaud os conceitos não podem ser considerados isoladamente, a não ser como uma abstração destinada a isolar elementos numa organização mais complexa. Tais conceitos inserem-se em estruturas mais complexas, os campos conceituais, como é o caso dos campos conceituais das estruturas aditivas e multiplicativas (em matemática), e vários outros campos conceituais em outros domínios de conteúdo epistêmico. Segundo Vergnaud, a abordagem de um conceito científico como por exemplo “força” não pode prescindir da abordagem de uma série de outros conceitos, concomitantemente, para que se possa fazer sentido psicológico de “força”. Disso resulta que a construção conceitual é necessariamente sistêmica, articulada e complexa.

Tendo em vista os elementos de análise teórica proporcionados pela teoria dos campos conceituais, poderíamos gerar as seguintes questões correlatas, em vista da abordagem do domínio do campo de forças, objeto de interesse e exploração dessa pesquisa:

- a) *Quais os aspectos epistêmicos centrais a considerar no tratamento desse conteúdo?* Trata-se aqui de levar em conta aspectos relacionados à evolução histórica do conceito, disputas e iniciativas de transposição do mesmo dos

laboratórios científicos onde tais conhecimentos são gerados para a sala-de-aula, em processo denominado e pesquisado por Yves Chevallard como *transposição didática* (Chevallard, 1985).

- b) *Quais as representações dos alunos para este conteúdo?* De que forma os alunos constroem significados para os conceitos a cujo ensino são submetidos na escola? Como tais representações se articulam com invariantes lógico-operatórios e para quais situações são passíveis de mobilização como modelos cognitivos?
- c) *Como tais idéias se articulam em campos conceituais?* Como organizar as diversas noções e conceitos dos alunos em sistemas complexos ou campos conceituais psicológicos? Como entender o eventual papel facilitador ou dificultador destes campos conceituais psicológicos para a aprendizagem de conceitos formais em sala-de-aula?

Mais adiante teremos capítulos e seções que buscarão explorar os tópicos acima.

1.2.3. Considerações adicionais acerca das noções teóricas de *esquema e invariantes operatórios*.

As teorias construtivistas como a de Piaget têm o conceito de *esquema* como elemento básico do funcionamento psicológico (Llancaqueo, 2003). O esquema é uma organização invariante da conduta para uma classe de situações (Vergnaud, 1991). Por exemplo, Vergnaud (1991) analisa o esquema de contagem de uma certa quantidade de objetos realizada por uma criança de cinco anos. Independentemente do que são esses objetos ou como estão dispostos, há uma organização invariante no funcionamento desse esquema: o direcionamento os olhos, a enumeração a distinção dos objetos, o estabelecimento de relação entre objeto contado e rótulo numérico-lingüístico, dentre outros aspectos. Para uma criança de cinco anos, estes aspectos inerentes ao esquema de

contagem (e a outros esquemas) são implícitos e não explicitáveis por ela mesma. O sucesso de sua tarefa está na utilização de um esquema funcional (ou “correto”, em termos do mundo escolar). No exemplo dado acima, caso fosse empregado um esquema de contagem onde se repetissem números, ou objetos contados, o resultado do procedimento seria pouco eficaz (Franchi, 1999). Em outras palavras, a criança se utiliza de uma forma de proceder numa enumeração que considera eficiente. Esta maneira de proceder, de agir, de se postar, de analisar, etc. foi desenvolvida em todo seu processo de desenvolvimento nas diversas e diferentes situações que tivessem de alguma forma alguma semelhança com o ato de enumerar. E até mesmo durante esta contagem a criança aperfeiçoa este procedimento, ou seja, aperfeiçoa o esquema de enumeração.

A criação de esquemas é uma forma de deixar a atividade mental mais econômica, o que minimiza o esforço e a atenção mental das diversas atividades simultâneas que realizamos o tempo todo. Isto permite que realizemos tarefas sem que estejamos necessariamente concentrados nelas. É devido aos esquemas que conseguimos por exemplo dirigir e conversar com alguém ao mesmo tempo. Enquanto estamos aprendendo a dirigir, precisamos de atenção e concentração intensas, pois estamos no processo de adaptação e descoberta de uma nova atividade que é dinâmica e surpreendente em cada nova situação, como dirigir com pista molhada com o carro derrapando, um pedestre que cruza a pista repentinamente, uma marcha que não entra com facilidade, ou simplesmente quando o carro morre porque o pé foi tirado muito rapidamente da embreagem sem a devida rotação do motor. O esquema “dirigir um automóvel” é portanto desenvolvido e aperfeiçoado ou ainda recriados por um longo período de tempo, ou na verdade, aperfeiçoado sempre cada vez mais e mais e sempre numa taxa de aperfeiçoamento cada vez menor.

Uma experiência interessante onde se coloca em prova o esquema “dirigir um automóvel” é a primeira vez que alguém que sabe dirigir senta num kart. O kart é um automóvel que possui apenas dois pedais. O pedal da direita, assim como num carro, é o acelerador. Já o pedal da esquerda, que é acionado pelo pé esquerdo, é o freio. Desta forma, dirigir carro é sem dúvida diferente de dirigir um kart. Mas em vez de criarmos um novo esquema, tentamos inicialmente utilizar esquemas que já funcionam em outras situações. Em diversos aspectos há uma semelhança muito grande nessas duas atividades, mas é notório que inicialmente usa-se o pedal esquerdo indevidamente. Só após algumas voltas e repetidas ações corretas e incorretas que um novo esquema começa a ser criado até que o sujeito consegue seguir sem mais se concentrar com o novo posicionamento dos pedais. Pois bem, a partir de agora, o sujeito que dirige um kart e que se encontra numa corrida deve começar a procurar outros esquemas que o possibilitam dar uma volta em menos tempo, como a forma de contornar uma determinada curva, sem mais se preocupar com o posicionamento dos pedais. Os esquemas que podem vir a ser desenvolvidos nessa atividade são, teoricamente, sem fim. Um piloto profissional possui esquemas tão bem desenvolvidos que pode conversar com o engenheiro de prova nos boxes, enquanto pilota a 250km/h e realiza manobras provavelmente impossíveis para você leitor. Este foi só um exemplo que pode ser estendido a uma quantidade infundável de outras atividades.

Esta mesma forma de entender como um esquema pode ser criado e/ou desenvolvido a partir de novas experiências e de necessidades de adaptação e controle de uma situação pode ser estendida para entender os esquemas de domínio de um conceito. Quando um novo conceito é apresentado a alguém, como por exemplo, a um aluno de ensino médio ou até mesmo a você leitor que está tentando entender o que digo, tenta-se inicialmente fazer isso utilizando esquemas já aplicados na compreensão de outros conceitos que se assemelham a este novo conceito. Vejamos um exemplo concreto com

conceitos abordados nessa dissertação: quando se estuda o conceito de força, um dos conceitos que formam o campo conceitual do conceito de força é o caráter vetorial desta grandeza. Para se calcular a força resultante sobre um corpo, deve-se somar vetorialmente todas as forças que atuam sobre este corpo. Em correção de avaliações realizadas com alunos de ensino médio, onde há questões pedindo o cálculo da força resultante, é comum os alunos somarem todas as grandezas vetoriais presentes na figura, sem a distinção do tipo de grandeza representada, em outras palavras, somam-se todas as grandezas representadas por flechas (vetores) como se fossem do mesmo tipo. Da mesma forma, quando se apresenta uma situação de uma carga elétrica se encontrar na presença de um campo elétrico, é comum os alunos responderem que esta carga deverá se mover no mesmo sentido do campo, como se ele [o campo] representasse uma força. Nesta situação, Um esquema conceitual que interprete o sentido de um vetor [qualquer] como o mesmo sentido do movimento de um corpo parece estar em funcionamento.

Vergnaud (1995) chama a atenção para a utilidade dos esquemas em analisar classes de situação que o sujeito dispõe em seu repertório, inclusive em situações de resolução problemas. Muitos esquemas são usados simultaneamente numa situação nova para o sujeito. Estes esquemas são usados a depender do grau de parentesco deles com a nova situação (Franchi, 1999).

1.2.4. Considerações adicionais acerca da noção teórica de campo conceitual.

Na psicologia cognitiva têm-se realizado pesquisas para se determinar o que são os conceitos, como são representados e para que eles servem. *“Em geral, os conceitos são entendidos como representações mentais de classes”* (Llancaqueo et al, 2003, p. 400).

Estas representações mentais, que podem ser de situações, objetos, eventos, fenômenos, indivíduos, sentimentos etc, é uma atividade complexa e difícil de ser dissecada, já que é um resultado da “sobreposição” das experiências de vida do sujeito com o estímulo externo somada à relação desta representação mental com outros conceitos. Imagine um adulto que tentasse explicar a uma criança o significado da palavra *distúrbio* ou *marginal* ou *jurisprudência*. A criança ainda não tem experiências suficientes que lhe permita chegar a tais abstrações. Ou seja, seu campo conceitual não está preparado para isso. Cabe ao adulto entrar no mundo das idéias da criança e, usando palavras, expressões, narrativas etc, tornar o sentido da palavra mais acessível.

Podemos ver a física como uma multiplicidade de campos conceituais. A teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud tem muito a ver com as teorias de Piaget sobre as idéias de adaptação, desequilíbrio e reequilíbrio como base para a investigação em didática das Ciências e da Matemática (Moreira, 2002). Porém, a teoria dos campos conceituais se preocupa com especificidades epistemológicas dos conteúdos de aprendizagem:

A teoria dos campos conceituais é uma teoria cognitivista neopiagetiana que pretende oferecer um referencial mais frutífero do que o piagetiano ao estudo do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem de competências complexas, particularmente aquelas implicadas nas ciências e na técnica, levando em conta os próprios conteúdos do conhecimento e a análise conceitual de seu domínio. Embora Vergnaud esteja especialmente interessado nos campos conceituais das estruturas aditivas e das estruturas multiplicativas (1983b, p. 128), a teoria dos campos conceituais não é específica desses campos, nem da Matemática. Em Física, por exemplo, há vários campos conceituais -- como o da Mecânica, o da Eletricidade e o da Termologia -- que não podem ser ensinados, de imediato, nem como sistemas de conceitos nem como conceitos isolados. É necessária uma perspectiva desenvolvimentista à aprendizagem desses campos. (...) Naturalmente, esses campos conceituais não são independentes e uns podem ser importantes para a compreensão de outros, mas, ainda assim, Vergnaud considera útil falar em distintos campos conceituais se eles puderem ser consistentemente descritos (Moreira, 2002, pp. 3 e 4).

O autor acima deixa claro que existem campos conceituais para os vários ramos da física. Mas pode-se ir além. Cada domínio da física envolve outros domínios e cada um desses domínios exige um campo conceitual específico. Vergnaud (1983) fala sobre isso nos seguintes termos:

Além dos já citados campos conceituais das estruturas aditivas e multiplicativas, outros importantes campos conceituais, interferindo com esses dois, incluem: deslocamentos e transformações espaciais; classificações de objetos e aspectos discretos; movimentos e relações entre tempo, velocidade, distância, aceleração e força; relações de parentesco; medições de quantidades espaciais e físicas contínua. VERGNAUD (1983b, p128).

Um dos pressupostos dessa teoria diz que o conhecimento é desenvolvido no tempo, numa interação adaptativa do sujeito com as situações que experimenta. Em perfeita conformidade com a proposta piagetiana, Vergnaud afirma que “*O funcionamento cognitivo do sujeito em situação repousa sobre os conhecimentos anteriormente formados*” (Franchi, 1999, p. 157). Na teoria de Vergnaud, o termo “situação” deve ser entendido como contexto de tarefa (Llancaqueo et al, 2003), contexto onde se inserem objetos, relações desses objetos entre si e com o sujeito, além das ações do próprio sujeito. No contexto de sala de aula, a manipulação dessas situações pelo professor pode ajudar tal professor a facilitar a evolução das concepções de seus alunos. É sob a influência de várias situações que se manifestam as diferentes concepções, procedimentos corretos e incorretos, além de representações que são realizadas para representar essas concepções. A teoria dos campos conceituais visa construir princípios que permitam articular concepções e competências adquiridas e construídas em situação (Franchi, 1999). Vergnaud (1990) afirma que os processos cognitivos e as respostas cognitivas são determinados por situações que são enfrentadas. É através do domínio de novas situações que o sujeito adquire campos conceituais que modelam seu conhecimento.

O triplete $C = \{S, I, R\}$, usado por Vergnaud para definir um conceito pode ser compreendido melhor numa situação mais específica, como no caso do conceito de campo de forças, da seguinte forma: S seria o conjunto de situações que incluem fenômenos físicos que descrevem e vão dar sentido ao conceito de campo. Estas situações de problemas podem ser encontradas mais especificamente nos campos da gravitação universal, eletrostática e magnetismo. Nos três casos temos a situação de aplicação de força à distância, sem contato direto entre os corpos. I seria o conjunto de invariantes operatórios matemáticos e físicos que devem ser aceitos cientificamente e que devem ser aplicados em situações de resolução de problemas, além de situações descritivas. Mais especificamente, os invariantes físicos seriam elementos, operações e suas propriedades que devem se relacionar com grandezas físicas de força, posição, energia, massa, carga, trabalho, campo de forças, entre outras. Em outras palavras, estes invariantes seriam as leis físicas que governam e dão conta da manipulação deste campo de conhecimento físico. Já os invariantes matemáticos seriam operações vetoriais e escalares, funções e suas regras e propriedades específicas de cada operação, além do cálculo diferencial e integral¹³. R seria o conjunto de representações simbólicas que dependeria tanto do conjunto de situações S, como do conjunto de invariantes operatórios, tanto físicos como matemáticos. Seriam em última instância as representações simbólicas usadas nos problemas e fenômenos físicos, todas elas correspondendo aos significantes do campo conceitual do conceito de campo de forças. Para que um conceito vá adquirindo sentido para um sujeito, faz-se necessário que tal conceito seja mobilizado em contextos específicos, situações e problemas.

Quando se apresenta aos estudantes pela primeira vez o conceito de campo de forças, deve-se esperar que eles já possuam algumas opiniões formadas a respeito do

¹³ Não serão usados neste trabalho, por se tratar de um estudo com alunos de ensino médio.

assunto. Muitas reflexões e inferências já foram feitas com relação às suas experiências de vida com diversas situações que têm a ver com o que está sendo estudado. Ou seja, mesmo sem nunca ter tido um estudo formal sobre este conceito, o aluno já deve possuir alguma representação mental de situações onde ocorrem ação à distância. A interação entre conhecimentos informais (“espontâneos”) e formais (“escolares”), como afirmariam tanto Vergnaud quanto Vygotsky (cf. Vygotski, 2001), seria o caminho para que o sujeito não se fixe exclusivamente em suas concepções alternativas, que se criam justamente neste campo conceitual ainda em desenvolvimento.

Com este trabalho, podemos também, assim como fez (Nardi, 1985), avançar na explicitação das concepções que os alunos dispõem para a compreensão do conceito de campo de forças na física. Para o professor, ter informações deste tipo em mãos é particularmente poderoso, por lhe permitir mediar mais eficazmente a situação de aprendizagem dos seus alunos.

...A tese subjacente aos campos conceituais, entretanto, é que a realização de um bom evento didático (*mise-en-scène didactique*) apóia-se necessariamente sobre o conhecimento da dificuldade relativa das tarefas cognitivas, dos obstáculos habitualmente encontrados, do repertório de procedimentos disponíveis e das representações possíveis. (VERGNAUD apud Franchi, 1999)

Na perspectiva das investigações em educação em ciências, há uma preocupação grande atualmente em saber como se dá a construção dos conceitos científicos pelos estudantes, quais os processos cognitivos subjacentes a um aprendizado específico. No capítulo seguinte são apresentadas considerações nessa direção, voltadas para o conceito científico de campo de forças.

Capítulo 2

Campo de forças: alguns aspectos epistêmicos e psicológicos a considerar

Robilotta (1985) inicia um parágrafo de seu livro com a pergunta: *O que é campo elétrico?* Para esta pergunta existiriam muitas respostas, diz ele. Uma das diversas formas de se descrever um campo seria um vetor obtido através das equação de Maxwell, ou seja,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q|}{d^2} \quad (1)$$

ou mais simplificada

$$E = \frac{k \cdot |Q|}{d^2} \quad (2)$$

Esta é, sem dúvida, uma resposta no mínimo desestimulante para alguém que pudesse ter algum interesse sobre o conceito de campo de forças. Além disso, para alguém que gosta de física, que gosta de refletir sobre a natureza, seu funcionamento e suas leis, essa é uma resposta simplória, limitada e até mesmo cruel. Ao final do texto que escreve, Robilotta cita um provérbio chinês: “O dedo serve para apontar a lua; o sábio olha para a lua, o ignorante para o dedo”. Nesse sentido, a fórmula acima representaria um dispositivo de modelização (uma espécie de “dedo” formal apontando explicativamente para determinado fenômeno) cuja complexidade “ofuscaria” o aluno de tal forma que ele estaria condenado a se restringir ao dedo, sem dele tirar proveito como *apontador* da lua... Entendemos com isso que o que torna a física uma ciência diferente da matemática é sua capacidade de

extrapolar este formalismo matemático, requisitando a matemática como ferramenta e não como foco de primeiro plano, como representação que possibilita a abordagem do conceito de uma forma psicologicamente mais viva e rica.

O conceito de campo é fundamental em física por cruzar amplos domínios da disciplina (Llancaqueo et al, 2003), sendo o desenvolvimento deste conceito uma tarefa longa e difícil, com grandes mentes do mundo da física, como Newton e Faraday, dando suas contribuições. Temos a seguir um pouco dessa história¹⁴.

Na história da física, o conceito de campo surge com Faraday no século XIX na busca de explicações de fenômenos eletromagnéticos e posteriormente com Maxwell, dando um corpo matemático às concepções de Faraday. Na época, já se tinha desenvolvido um arcabouço matemático proposto por Laplace e Poisson, porém faltava ainda uma formulação que permitisse um aprofundamento no conceito físico (Llancaqueo et al, 2003). O físico Isaac Newton desenvolveu a teoria da gravitação universal explicando matematicamente como se dava o movimento dos planetas em torno do Sol. Ele mesmo não foi capaz de desenvolver uma teoria que explicasse como era possível esta interação entre corpos à distância e limitou-se a descrever como a Terra se move ao redor do Sol sem dizer o que a faz mover-se (Feynman, 1963). O próprio Newton se refere à dificuldade de compreensão do fenômeno:

Ainda não consegui deduzir, dos fenômenos, a razão dessas propriedades da gravidade e não imagino hipóteses. Porque tudo o que não se deduz dos fenômenos é uma hipótese: e as hipóteses, sejam metafísicas, físicas ou mecânicas, ou tenham qualidades ocultas, não devem ser acolhidas na filosofia experimental. (Newton apud Groueff, 1978, p. 128)

A busca por explicações de fenômenos de *interação entre corpos à distância* é muito antiga. Os gregos tentaram responder a situações deste tipo. Ao observar a atração

¹⁴ Para uma discussão mais detalhada da história de campo e campo de forças, ver Nardi (1991).

entre o âmbar atritado com pequenos corpos leves, como fez Otto von Guericke (Magalhães et al, 2002) e ímãs que atraíam o ferro, Tales, considerado o primeiro filósofo a tentar explicar o assunto, dizia que estas forças de atração se deviam a “espíritos inteligentes e divinos” (Nardi, 1991). Esta é apenas um das idéias que tentavam explicar como eram possíveis estes fenômenos. O árabe Al Khazini, em 1137, parece ter se tornado um precursor da teoria da ação à distância, na sua obra “Livro do balanço da sabedoria”, quando afirma que todos os corpos são atraídos para o centro do universo, inclusive a Terra. Atualmente, tais explicações animistas que remetem à existência de espíritos ou de forças ocultas persistem em teorias do chamado senso-comum, assim como em algumas explicações produzidas por alunos em processo de aprendizagem (o que mostra o interesse pedagógico da história da ciência), mas estão descartadas pela física de referência contemporânea (Nardi, 1991).

Gilbert, ao publicar em 1600 a obra “De Magnete”, tornou-se o primeiro a refutar as idéias dos gregos sobre a magnetita¹⁵ (loadstone) com a mais completa obra sobre magnetismo até então e foi o primeiro a usar termos como “força magnética” e “força elétrica”. Ele pesquisou a atração entre magnetos e, também, efeitos eletrostáticos produzidos pelo atrito de certos materiais (Magalhães et. al 2002). Tanto Gilbert quanto Plutarco tiveram questionamentos semelhantes sobre a atração entre corpos eletrizados ou imantados, do tipo: “ele é produzido pelo próprio corpo, ou por algo imperceptível que emana do corpo para o meio ambiente?”. Até Newton, no século XVII, eram as idéias de Gilbert, Tico Brahe Copérnico, Galileu, entre outros, que eram aceitas. Eles foram cientistas de fundamental importância no desenvolvimento de uma teoria que explicasse o movimento dos planetas em torno do Sol. Uma das teorias propostas da época era que anjos invisíveis batiam asas e impeliam os planetas para frente, como uma forma de

¹⁵ A magnetita é um ímã natural, formada a partir da solidificação de magma vulcânica e na presença do campo magnético terrestre.

explicar o movimento contínuo deles (Feynman, 1963). Na sua principal obra “Principia”, Newton, em 1686, estabeleceu as bases da teoria de Gravitação Universal. Para ele, os corpos celestes agiam instantaneamente uns sobre os outros colocados à distância com uma força proporcional ao inverso do quadrado da distância entre eles (Nardi, 1991).

A filosofia mecanicista, da qual a teoria de ação à distância faz parte, teve início com Copérnico, Kepler e Descartes. Esta visão começou a ser questionada quando não conseguiu explicar os fenômenos elétricos e magnéticos que começaram a ser descobertos, o que levou ao desenvolvimento da teoria de campo (Blin-Stoyle, 1959 apud Nardi, 1991).

Com o advento da pilha, por Galvani, tornou-se possível obter-se correntes elétricas por tempos mais longos. Trabalhando com pilhas e fios, Oersted verificou que a passagem de corrente elétrica pelo fio alterava a orientação de uma bússola posicionada nas proximidades deste fio. Esta descoberta foi de fundamental importância para o surgimento do eletromagnetismo (Nardi, 1991). Até então não se sabia de indícios que unissem os fenômenos elétricos aos magnéticos. Além de Oersted, as idéias de Ampère sobre forças de atração e repulsão entre fios percorridos por correntes elétricas também foram de fundamental importância para as idéias de Faraday sobre o desenvolvimento do conceito de campo. Este físico britânico teve o cuidado de refazer as experiências de Oersted e Ampère e segundo Berkson (1974), foi com o aprimoramento do experimento de Oersted que Faraday conseguiu mergulhar na teoria de campo e que teve como ponto importante a introdução da idéia de “linhas de força” como sendo aquelas cujas tangentes se orientam sempre na direção da força magnética e que a densidade destas linhas de força indicava a intensidade do campo naquela região. Faraday imaginou que o espaço entre cargas ou entre ímãs fosse preenchido por "algo" que empurrasse ou puxasse as cargas ou ímãs. Ele fez uma analogia entre esse "algo" e "tubos de borracha" que se "esticassem" entre cargas elétricas de sinais opostos ou pólos magnéticos de sinais opostos; ou se "contraíssem",

quando as cargas tivessem sinais iguais ou os pólos, a mesma polaridade (Magalhães, 2002). A partir de experimentos realizados por Faraday, ele pôde atestar a existência física das linhas de força, por perceber que elas eram curvas e que levavam um certo tempo pra se propagarem. Esta última só foi demonstrada posteriormente por Maxwell. Esta teoria de campo ainda passou a ser questionada pelas teorias de Einstein da relatividade e a teoria quântica moderna (Nardi, 1991). Porém, segundo Berkson (op.cit., p.3), “a teoria de campo é a visão mais geral e recente do mundo a ser desenvolvida. Tem sido seriamente questionada, mas ainda não foi substituída por uma visão melhor e de envergadura semelhante”. Feitas estas breves considerações de ordem histórica e epistemológica, passamos em seguida à discussão acerca do esforço de transposição desses conteúdos do contexto do chamado “saber de referência” para o contexto da sala de aula.

É provável que muitas das dificuldades encontradas na história do desenvolvimento e um conceito podem se repetir pontualmente em sala de aula. Quando, por exemplo, a física de Galileu e Newton (a mecânica clássica de uma forma geral), é discutida com adolescentes em sala de aula, freqüentemente tais alunos apresentam respostas a algumas questões físicas que não correspondem ao paradigma atual da ciência. É importante lembrar que algumas destas respostas foram dadas por grandes mentes do passado, conforme demonstramos brevemente em parágrafos anteriores. A partir de experiências extra-escolares, tiram-se conclusões equivocadas do ponto de vista da ciência formal. Os sentidos são as fontes de informação do que se passa ao redor das pessoas e poucos conseguem modelizar por si próprios uma explicação científica subjacente ao fenômeno percebido. Isto faz lembrar o que Searle chama de senso comum: “... o senso comum é basicamente uma questão de crenças amplamente difundidas e geralmente inquestionadas.” Searle (2000, p.20).

2.1. Dos laboratórios à sala-de-aula: alguns aspectos relacionados a currículos e programas de ensino de campo de forças no nível médio

O currículo da disciplina de física no ensino médio é amplo, abarcando as leis de Newton (Leis do movimento), leis da conservação, mecânica dos fluidos, termodinâmica, ondulatória e campo de forças. Este último tópico é estudado mais especificamente em gravitação universal, onde se descreve o comportamento do campo gravitacional; Eletromagnetismo, onde se descreve o campo magnético gerado por ímãs e correntes elétricas; e eletrostática, onde se descreve o comportamento do campo elétrico gerado por cargas elétricas. Resumidamente, podemos dizer que campo de forças é um tópico programático do ensino de física explorado principalmente em três¹⁶ contextos:

- Gravitação Universal, onde são estudadas as interações entre massas à distância através o *campo gravitacional*.
- Magnetismo, onde são estudadas (entre outras) interações entre ímãs através do *campo magnético*.
- Eletrostática, onde são estudadas interações entre cargas à distância, através do *campo elétrico*.

O campo elétrico pode aparecer em diversas situações, como campo elétrico tipo-onda ou campo elétrico tipo-força, mas são tratadas de maneira mais ou menos isoladas nos livros didáticos (Robilotta, 1985). No presente trabalho discutiremos apenas o campo

¹⁶ São conhecidos atualmente, além dos citados, outros tipos de campos de forças, como o forte, o fraco e o gluônico (cada um deles associado a um diferente tipo de matéria), que não serão tratados aqui, posto que não são transpostos para os currículos escolares do ensino fundamental e médio.

elétrico criado por uma carga puntiforme¹⁷, fixa num ponto do espaço e associado à lei de Coulomb¹⁸.

A forma mais usada pra explicar o que é campo de forças no ensino médio é a de que existe uma região no espaço que é criada, ou que é gerada, ou associada¹⁹ à existência de uma massa (no caso do campo gravitacional) ou de um ímã (no caso do campo magnético) ou de uma carga elétrica (no caso do campo elétrico) e que é através desse campo que se torna possível a aplicação de uma força. A existência desse campo de forças depende exclusivamente do corpo que tem associado a ele este campo. Por exemplo, a existência do campo gravitacional terrestre depende exclusivamente da Terra, na sua intensidade, direção e sentido. Não há como dissociá-los, separá-los, imaginar um sem o outro.

O aspecto mais notável do conceito de campo elétrico (...) é a idéia de que uma carga elétrica cria em torno de si um campo, independente de existirem ou não outras cargas por perto, que possam sentir esse campo. De acordo com esse modo de enxergar as coisas, o campo é propriedade da partícula. Ela sempre traz o campo consigo, sendo impossível separar um do outro. (Robilotta 1985)

A representação de um campo de forças pode ser feita de formas diferentes. O campo gravitacional terrestre, por exemplo, pode ser representado como na figura 1 abaixo:

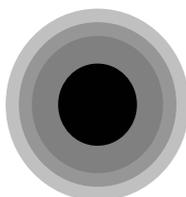


Figura 1: campo gravitacional terrestre, representado como uma área em torno da Terra.

¹⁷ Uma carga puntiforme seria uma partícula eletrizada, com dimensões desprezíveis.

¹⁸ A lei de Coulomb é usada para se calcular a força de interação entre duas partículas eletrizadas, de forma que $F = \frac{k \cdot |q_1 \cdot q_2|}{d^2}$, onde k é a constante eletrostática, que no vácuo tem o valor de $9 \cdot 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$, q_1 e q_2 o

valor das cargas e d a distância entre elas.

¹⁹ Existem diferentes formulações sobre a natureza do campo de forças. Os professores usam comumente um destes três tipos de formulação: que o corpo *gera* ou que *cria* ou *que tem associado a ele* um campo de forças, como se constituísse o próprio corpo, sendo uma extensão sua.

Podemos também representar campo gravitacional num determinado ponto através do vetor campo gravitacional. Este vetor aponta sempre para o centro da Terra e serve de suporte para representação da força peso de um outro corpo qualquer que seja colocado naquele ponto. As figuras 2 e 3 abaixo ilustram essas situações.

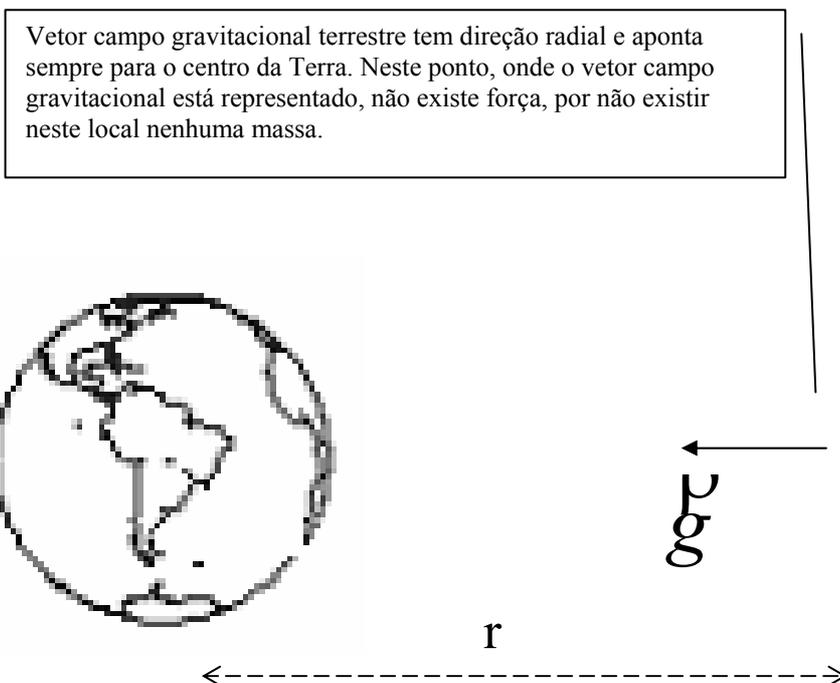


Figura 2: Representação do vetor campo gravitacional terrestre num ponto a uma distância r do centro da Terra.

A expressão matemática para se calcular o valor (ou módulo) de g a uma distância r do centro da Terra é:

$$g = \frac{G.M}{r^2} . \quad (3)$$

Onde g é o módulo do vetor campo gravitacional, M é a massa do corpo que tem o campo associado a ele (no caso, a massa da Terra), r é a distância do centro do corpo ao ponto de aplicação do vetor campo e G é a constante de gravitação universal $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$. Se no ponto onde existe o vetor campo gravitacional for colocado um corpo de massa m , ele ficará submetido à ação de uma força.

Porém, o fato de existir o campo gravitacional terrestre (ou qualquer outro) num determinado ponto não implica necessariamente que existe uma força aplicada naquele ponto. Para isso, no caso de um campo gravitacional, faz-se necessário que exista naquele ponto uma massa. Portanto, a existência de uma força depende da combinação simultânea de campo gravitacional num determinado ponto e da quantidade de massa ali colocada (este mesmo raciocínio pode ser estendido para o campo elétrico e carga elétrica, ou campo magnético e ímã²⁰).

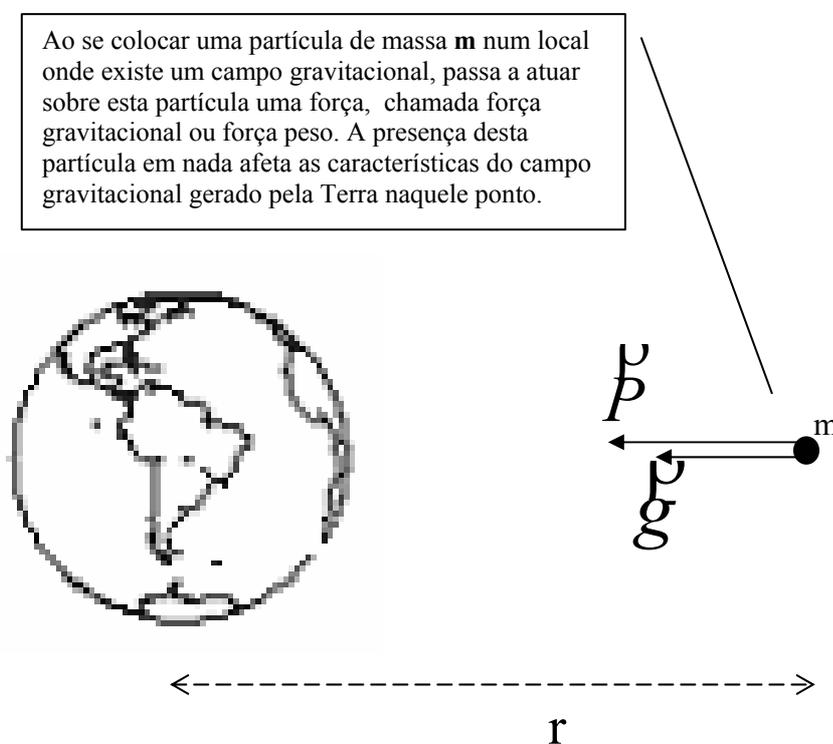


Figura 3: Partícula de massa m submetida à ação do campo gravitacional terrestre.

²⁰ Existe também a possibilidade de se aplicar forças magnética em cargas elétricas em movimento, como em fios percorridos por correntes elétricas. Porém, vamos nos deter na interação do campo magnético apenas com ímãs.

A força gravitacional, *ou força peso* é dada pela expressão:

$$F = \frac{G.M.m}{r^2} \quad (4)$$

(essa é a formulação matemática da chamada lei da Gravitação Universal de Newton)

Ao comparar esta equação com a do campo gravitacional, nota-se que a única diferença é a presença da massa **m**. Estas equações mostram, portanto, que a determinação do valor do campo gravitacional depende exclusivamente de **M** (que neste caso é a massa da Terra) e da distância **r**. Por outro lado o valor de F depende também da massa **m**. Combinando as duas equações, temos:

$$F = g.m \quad (5)$$

ou, como é mais comumente escrito:

$$\vec{P} = m.\vec{g} \quad (6)$$

Um detalhe importante: o valor tão pequeno da constante (da ordem de 10^{-10}) mostra a necessidade de massas comparáveis à de um corpo celeste pra que se faça perceber a ação desta força. É por isso que não percebemos a força de atração entre duas pessoas, ou mesmo a interação entre uma pessoa e um edifício.

A teoria eletromagnética clássica afirma que a interação entre partículas ocorre instantaneamente, pois ela se baseou nas idéias de espaço e tempo da mecânica, que afirma que a interação só depende da posição das partículas. A teoria da relatividade de Einstein, pelo contrário, parte da idéia que existe uma velocidade limite para que esta interação ocorra ou sofra alguma mudança em módulo ou direção ou sentido (Feynman, 1963). Isto implica dizer que o campo possui realidade física (Llancaqueo et al, 2003; Robilotta, 1985). Desta forma, não se deve falar em interação entre duas partículas, mas a interação

de uma partícula com o campo associado a ela e a interação deste campo com uma outra partícula (Landau, 1902; Einstein, 1905 apud Llancaqueo et al, 2003; Robilotta, 1985).

Para um exemplo concreto de transposição didática, temos no APÊNDICE A um exemplo ilustrativo de como tradicionalmente se ensina um dos diferentes tipos de campo de forças: O campo elétrico. Lembremos que as relevâncias e os enfoques variam de professor para professor e que os exemplos dos quais o professor lança mão sofrem variações.

2.2 Campo conceitual psicológico e campo conceitual epistemológico de *campo de força*

A forma como entendemos um novo conceito qualquer é resultado de combinações de todas as experiências, reflexões e conhecimentos prévios que temos acerca dos fenômenos que de alguma forma têm relação, da nossa perspectiva de aprendizes, com este novo conceito. Desta forma, o campo conceitual psicológico de um indivíduo que lhe serve de base para compreensão de um conceito, como o de campo elétrico, magnético ou gravitacional, comumente diverge do campo conceitual epistemológico ou canônico destes conceitos.

Em aulas com estudantes do ensino médio, é possível perceber que, após terem estudado as Leis de Newton, onde se define o conceito de força, uma boa quantidade dos estudantes consegue responder com certa segurança acerca da interação entre corpos que estão em contato. Um corpo colidindo com outro, uma corda que puxa um bloco, o atrito sobre uma superfície rugosa que leva um objeto que foi lançado sobre esta chegar ao repouso, são situações mecânicas explicadas através das leis de Newton bem aceitas (e

inquestionadas) pelos alunos, pela “obviedade” do fenômeno: é algo visível, próximo do intuitivo, com um agente causal claramente detectável (“*alguém* que puxa uma corda que puxa um bloco) que se constata e que está presente nas nossas experiências de vida desde muito cedo no percurso do desenvolvimento. Mas como fazer para que um objeto altere seu estado de movimento, seja aumentando sua velocidade, diminuindo-a ou simplesmente alterar sua trajetória, *sem tocá-lo*? Como é possível que a Terra permaneça girando em torno do Sol numa trajetória circular se, por inércia²¹, ela tenderia a seguir em linha reta? A pedra fica submetida à ação de uma força aplicada pelo barbante, chamada de tração. Nesta situação, fica fácil explicar quem aplica a força, já que o barbante é concreto e visível, diferentemente da situação Terra-Sol ou Terra-Lua. Ou na situação entre dois ímãs que se atraem ou se repelem. Ou ainda na interação entre duas cargas elétricas. Não há nada material que sugira a aplicação de uma força de um corpo sobre outro.

Diante dessa nova situação menos intuitiva, faz-se necessário produzir significado para o conceito de *campo de forças*. Robilotta(1985), sugere que os professores devam tentar tornar o ensino de física mais humano, acrescentando ao formalismo matemático algum sentimento, sem perder de vista este formalismo e muito menos negligenciá-lo. Ele diz que “poderíamos pensar no campo elétrico como uma espécie de aura a envolver a carga elétrica” (Robilotta, 1985, p.II-6), chegando a dar uma conotação semi-material para um campo de forças.

Ir além do formalismo, no ensino de física, é importante porque é isso que estabelece uma relação rica entre o mundo dos símbolos e um mundo formado por coisas. Este último, por suas características não abstratas, é imediatamente acessível a um número grande de estudantes, permitindo-

²¹ Inércia é a tendência que todo corpo possui de permanecer com a mesma velocidade vetorial em que se encontra. Ou seja, um corpo em repouso tende a permanecer em repouso e um corpo em movimento tende a permanecer em *movimento retilíneo uniforme*, a não ser que uma força aja sobre ele. Galileu foi quem primeiro sugeriu que um corpo em movimento, sem nada o tocando e totalmente imperturbado tenderia a permanecer com velocidade uniforme em linha reta (Feynman, 1963). Era o início da formulação da Lei da Inércia que teria sua descrição completa e finalizada mais tarde por Newton, com o conceito de *força*. Segundo ele, para que um corpo alterasse sua velocidade em módulo ou direção, era necessária uma força aplicada neste corpo (Feynman, 1963), como uma pedra que gira presa a um barbante.

lhes a participação no diálogo que deveria ser o processo educacional. Deste modo, a possibilidade de se encher o formalismo de significado, tornando-o mais rico, pode levar a modificações importantes na relação com a física que professores e estudantes têm durante o processo educacional. (Robilotta, 1985, p. II-14)

E acrescenta:

Longe de ser uma desvantagem, a existência dessas áreas difusas é um dos elementos que o professor pode se utilizar no ensino de física, desde que isso seja feito sem dar margem a mistificações (Robilotta, 1985, p II-7)

Torna-se, portanto, necessário criar formas de se referir a conceitos formais contra-intuitivos como o conceito de campo. Esse esforço implica no oferecimento ao aluno do que Da Rocha Falcão chama de “andaimés conceituais”²², constituídos por analogias, metáforas e outras figuras de linguagem que possibilitem a ampliação de seus campos conceituais de campo de forças. Tal trabalho cognitivo de ressignificação vai muito além do formalismo matemático estrito, no sentido de mera adoção de fórmulas a serem memorizadas. Em outras palavras, é tendência psicológica bastante discutida pela tradição teórica piagetiana em termos dos conceitos centrais de *adaptação*, *assimilação* e *acomodação* (Piaget, 1976; 1990), dar “cheiro” e “gosto” aos conceitos, propiciar que os alunos criem suas maneiras particulares de entender algo novo, tendo por base o estabelecimento de diálogo entre alunos e professor acerca do conceito que é apresentado em sala-de-aula.

Ratificando, devemos lembrar do caráter estrutural do conhecimento e que o todo é mais valioso que as partes. Ter domínio sobre ramos da física não significa dominar a física, assim como ter domínio sobre o cálculo do campo elétrico num ponto a uma certa distância de uma carga elétrica não significa compreender o conceito de campo. Um ensino

²² “Conceptual scaffolding”, cf. Da Rocha Falcão, 1995.

baseado na idéia de imagem da natureza gera um conhecimento unificado e que dá abertura a intuições. (Robilotta, 1985).

Alguns livros didáticos de física trazem, no início de cada capítulo, uma relação de conceitos necessários para a compreensão do novo conceito a ser estudado. Este rol de pontos fornece indicações acerca do que se considera crucial, em termos de concatenação temporal e conteudística, para a aprendizagem pretendida.

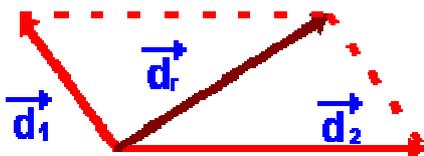
Sem dúvida, todo o histórico escolar do estudante, que inclui estudos de matérias afins à física, como matemática e química, mas também as interpretações de textos, estudo das artes, geografia física e humana devem contribuir na construção de um novo conceito. Investigar qual o nível de contribuição que cada uma dessas áreas de conhecimento oferece à compreensão de campo de forças é uma tarefa complexa, que demanda o estabelecimento, em termos de hipóteses, de precursores conceituais a serem testados na pesquisa. Nesse sentido, propomos aqui alguns precursores conceituais que julgamos importantes para a abordagem do campo de forças em geral. A análise dos dados obtidos nas respostas dos nossos sujeitos buscou evidenciar a relevância de tais precursores para o conceito de campo de forças (cf. Capítulo 4, mais adiante). A seção seguinte descreve os precursores conceituais propostos.

Precursor conceitual 1: Conceito de vetor e operações vetoriais.

Descrição:

Matematicamente, um vetor é um segmento de reta orientado que se caracteriza por um módulo (representado pelo comprimento do segmento), uma direção (definida pelo ângulo entre esse segmento e a horizontal) e um sentido (cada segmento de reta define dois sentidos).

Vetores podem ser somados ou subtraídos geometricamente. Uma das maneiras de se somar dois vetores de direções diferentes é através da regra do paralelogramo. Ela consiste simplesmente em colocar as origens dos dois vetores coincidentes e construir um paralelogramo. O vetor soma (ou vetor resultante) será dado pela diagonal do paralelogramo cuja origem coincide com a dos dois vetores.



Deve-se construir esse paralelogramo traçando, a partir da extremidade de cada vetor, um segmento paralelo ao outro vetor, formando um quadrilátero de lados opostos paralelos.

Importância do conceito de vetor e de operações vetoriais para o conceito de campo de forças:

Por ser uma grandeza vetorial, o campo de forças pode ser representado por um vetor num determinado ponto. Se neste ponto há mais de um campo gerado por diferentes corpos, pode-se calcular o campo resultante somando-se vetorialmente todos esses campos.

Precursor conceitual 2: Grandezas escalares e vetoriais.

Descrição:

Algumas grandezas precisam de uma orientação para estarem totalmente descritas. Outras grandezas não. As grandezas que precisam desta orientação são chamadas de grandezas vetoriais, como é o caso da velocidade. Por exemplo, dizer que um pássaro voa a 10m/s não nos dá toda a idéia subjacente a este vôo. Ele pode estar voando para o sul, para o norte, para cima, para baixo ou qualquer outra direção e sentido. Desta forma, é preciso representarmos a velocidade por uma vetor. Por outro lado, não faz sentido dizer que uma

pessoa está com febre para a direita ou para a esquerda. Isto caracteriza temperatura por uma grandeza escalar. Grandezas escalares não são representadas por vetores.

Importância do conceito grandezas vetoriais e escalares para o conceito de campo de forças:

O estudo de campo de forças é permeado por muitas grandezas escalares e vetoriais. Carga elétrica – campo elétrico, massa – campo gravitacional, ímã – campo magnético são grandezas escalares e vetoriais, respectivamente que envolvem o conceito de campo de forças.

Precursor conceitual 3: Carga elétrica²³

Descrição:

Carga elétrica é uma das propriedades²⁴ da matéria. O átomo de Rutherford, usado como modelo em sala de aula do ensino médio, apresenta o átomo constituído por prótons, nêutron e elétrons. Os prótons e os elétrons possuem cargas elétricas, sendo o próton positivo e o elétron negativo. As carga elétricas podem se atrair ou se repelir e o fazem obedecendo a lei da atração e repulsão:

- Cargas de mesmo sinal se repelem
- Cargas de sinais contrários se atraem

Importância do conceito de carga elétrica para o conceito de campo de forças:

Campos elétricos, um dos campos de forças, são gerados por cargas elétricas.

²³ O conceito de carga elétrica é particularmente importante para a formação de conceito de campo elétrico.

²⁴ Outras propriedades da matéria são a massa e o magnetismo.

Precursor conceitual 4: Conceito de força.

Descrição:

Força é o ente físico capaz de deformar um corpo e/ou alterar a velocidade deste corpo. É uma grandeza vetorial, pois para representarmos uma força aplicada sobre um corpo se faz necessária uma orientação, ou seja, direção e sentido. Na figura 3, vemos uma força aplicada sobre um objeto.



Figura 3

Força é um tipo de ação de um corpo sobre outro, ou seja, é preciso dois corpos distintos interagindo entre si para que exista força. É comum, entretanto, ilustrarmos apenas um dos dois corpos da interação. Perceba que não é mostrado na figura 3 quem está aplicando esta força, que poderia ser uma mão, uma corda ou qualquer outra coisa.

Importância do conceito de força para o conceito de campo de forças:

O desenvolvimento de uma teoria que explicasse como uma força poderia ser aplicada à distancia foi que levou à idéia de campo de forças. Desta forma, o campo é o ente físico que possibilita a interação entre corpos quando não estão em contato entre si. Além disso, através das características do vetor campo num determinado ponto, podemos encontrar todas as características da força que a ser aplicada sobre um determinado corpo colocado ali.

Precursor conceitual 5: Leis de Newton

Descrição:

As leis do movimento são comumente chamadas de lei de Newton.

1ª Lei: Lei da Inércia:

“Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele”.

Em outras palavras, quando não há forças aplicadas sobre um corpo ou quando a soma das forças aplicadas sobre um corpo é nula, o corpo encontra-se em equilíbrio. Se o equilíbrio for estático, o corpo encontra-se em repouso. Se for um equilíbrio dinâmico, o corpo encontra-se em movimento retilíneo e uniforme.

2ª Lei: Equação fundamental da Mecânica:

“A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida e é produzida na linha reta na qual aquela força é imprimida”.

Esta lei relaciona a força resultante imprimida sobre um corpo de massa m com a aceleração adquirida por ele. $F_r = m \cdot a$.

3ª Lei: Lei da Ação e Reação:

“A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou seja, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas”.

Ou seja, as forças sempre aparecem aos pares, com mesmo módulo e de sentidos contrários. Uma consequência muito importante desta lei é a de que um corpo não pode aplicar força sobre si mesmo.

Importância das leis de Newton para o conceito de campo de forças:

Toda a eletrostática, o magnetismo e a gravitação obedecem às Leis de Newton.

Precursor conceitual 6: Noção de superposição de efeitos

Descrição:

Uma das leis mais importantes da física trata da presença simultânea e *independente* de mais de uma grandeza vetorial num mesmo ponto. Por exemplo, a ação de várias forças aplicadas sobre um mesmo corpo se dá de maneira independente. Isto quer dizer que cada força aplicada sobre um corpo provoca uma alteração no módulo do vetor velocidade desse corpo na mesma linha de ação desta força, ou seja, na mesma direção e mesmo sentido desta força independentemente de outras forças estarem fazendo o mesmo em outra direção qualquer. O resultado da variação de velocidade que este corpo vai sofrer corresponde à soma destas variações sofridas em cada direção.

Importância do conceito superposição de efeitos para o conceito de campo de forças:

As características (como valor, direção e sentido) do vetor campo de forças num determinado ponto criado por um corpo qualquer não é interferida pela presença de outros campos neste mesmo ponto. Uma partícula de prova²⁵ colocada neste ponto ficará sujeita à ação destes campos também de forma independente.

Resumidamente:

TABELA 1: relação de todos os precursores conceituais de campo de forças.

Precursos conceituais
1- Conceito de vetor e operações vetoriais.
2- Grandezas escalares e vetoriais.
3- Carga elétrica
4- Conceito de força.

²⁵ Um corpo de prova pode ser uma carga de prova, uma massa de prova ou um ímã de prova. Ele tem esse nome por poder provar que naquele ponto existe um campo de forças. Em outras palavras, este corpo de prova é o corpo que é inserido num campo de prova gerado por outro corpo.

5- Leis de Newton
6- Superposição de efeitos

Cada uma das questões do questionário (APÊNDICE D) tem associado a ela um ou mais precursores conceituais. A tabela abaixo faz a relação entre estes precursores e as referidas questões.

TABELA 1.1: relação dos precursores conceituais de campo de forças encontrados nas questões do questionário.

Questão do questionário	Precursos conceituais
Primeira questão	N ^o 2
Segunda questão (a)	N ^{os} 1, 2, 4 e 6
Segunda questão (b)	N ^{os} 4 e 5
Terceira questão	N ^o 3
Quarta questão (a)	N ^{os} 2 e 4
Quarta questão (b)	N ^o 5
Quarta questão (c)	N ^o 3
Quinta questão	N ^{os} 1, 2, 4, 5 e 6
Sexta questão	N ^{os} 1, 2 e 4

Mas o que devemos esperar que nossos alunos saibam ao término de uma instrução formal sobre campo de forças e mais especificamente campo elétrico? Quando podemos afirmar que alguém compreende e domina o conceito de campo de forças? De uma forma geral, são listados os seguintes conceitos que julgamos importantes para a compreensão do campo de forças em geral, em outras palavras, que formam o campo conceitual de campo de forças.

a) Todos os precursores conceituais para a compreensão do conceito de campo citados, descritos e justificados anteriormente, como conceito de força, operações vetoriais, Grandezas escalares e vetoriais, carga elétrica²⁶, leis de Newton e superposição de efeitos.

b) Força também como interação entre corpos à distância.

c) Interação à distância só pode acontecer através de um ente físico denominado campo de forças.

d) Existem diferentes fontes de campos de força, como massas, cargas e ímãs que geram, respectivamente, campo gravitacional, elétrico e magnético, sendo que cada campo gerado por uma fonte só aplica força sobre outro corpo de mesma natureza da fonte.

e) O campo de forças é uma grandeza vetorial podendo ser representado por um vetor num determinado ponto. Para o campo elétrico, gerado por uma carga puntiforme, este vetor tem as seguintes características:

e.1) Tem direção radial com a carga elétrica ocupando centro da casca esférica que contém o ponto de representação do vetor campo elétrico.

e.2) Aponta para o centro da carga quando esta possui carga elétrica negativa e no sentido contrário ao centro quando esta possui carga positiva. (abaixo temos a representação bidimensional do que se refere os itens e.1 e e.2:



²⁶ Especificamente para campo elétrico

e.3) O módulo deste vetor \vec{E} num determinado ponto depende *exclusivamente* do módulo da carga Q que gera o campo representado e da distância d deste ponto à carga, sendo a equação que governa a relação entre estes valores dada por (2). Desta forma, o módulo do campo elétrico é inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto à carga.

f) A presença de um campo de forças num determinado ponto não implica a existência de força neste ponto.

g) Quando existem dois ou mais campos num determinado ponto, pode-se calcular o vetor campo de forças resultante somando-se vetorialmente todos os campos ali presentes.

h) O sentido da força elétrica exercida por um campo elétrico num determinado ponto depende do sinal da carga de prova ali colocada, segundo a relação:

$$\vec{F}_e = q \cdot \vec{E} \quad (7)$$

Desta forma:

h.1) Se a carga de prova for positiva, a força e o campo apontam no mesmo sentido.

h.2) Se a carga de prova for negativa, a força e o campo apontam em sentidos contrários.

i) Dois campos de forças de naturezas diferentes, não se somam nem se interferem.

j) Campo de forças uniforme, como um tipo de campo que se caracteriza por apresentar o vetor campo elétrico sempre com o mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido. Para o caso do campo elétrico uniforme gerado por duas placas eletrizadas com cargas de mesmo módulo e sinais contrários, o vetor campo tem sempre direção perpendicular às placas e aponta sempre para a placa negativa.

A partir desta lista de conceitos podemos criar uma tabela discriminando quais os *conceitos envolvidos* em cada questão da avaliação (APÊNDICE G) que foi aplicada aos alunos após a instrução formal de campo de forças.

TABELA 2

Questão da avaliação	Conceitos envolvidos
Segunda questão	d; e ²⁷ ; f
Terceira questão	b ; c ; d ; f
Quarta questão (a)	b ; c ; d ; h
Quarta questão (b)	e
Quarta questão (c)	h
Quinta questão (a) e (b)	b ; c ; d ; e ; f ; h ; i
Sexta questão	d ; e ; f ; g
Sétima questão	d ; e ; f ; g
Oitava questão (a)	b ; c ; d ; h ; i ; j
Oitava questão (b)	b ; c ; d ; h ; j

2.3. Ensino de Física: alguns dados de pesquisa disponíveis

Porque algumas pessoas têm mais facilidade para entender determinados assuntos que outros? Porque, mais especificamente em física, tantos alunos têm dificuldade de aprender e gostar da matéria? O que há por trás do sucesso dos alunos “inteligentes”?

²⁷ A citação o conceito “e” inclui os sub-itens e.1; e.2; e.3

Mario Schenberg²⁸ certa vez explicou como era seu procedimento numa situação de resolução de problemas. Ele, muito provavelmente, devia ser considerado um aluno inteligente em física.

Eu não me guio muito pelo raciocínio. O raciocínio é importante para provar as coisas, mas é a intuição que mostra a solução dos problemas²⁹. (Schenberg apud Robilotta, 1985)

Dolle (1996), ao explicar o que é inteligência, torna mais clara a importância de uma preparação prévia para se aprender algo novo. Sobre a definição de Piaget sobre inteligência, como um processo de adaptação, Dolle (1996) acrescenta:

As estruturações da atividade de adaptação (inteligência) permitem uma ação sobre o meio da qual resultam conhecimentos permitindo uma adaptação mais perfeita, e assim indefinidamente. (DOLLE, 1996, p. 98)

Portanto, a inteligência-adaptação se constitui quando o sujeito sobe um degrau no seu nível de entendimento de uma situação ou conceito. É muito comum que se exija do aluno que ele dê saltos cognitivos muito grandes e o fracasso é freqüente. Vergnaud reconhece igualmente que sua teoria dos campos conceituais foi desenvolvida também a partir do legado de Vygotsky (Moreira, 2002). Isso se percebe, por exemplo, na importância atribuída à interação social, à linguagem e à simbolização no progressivo domínio de um campo conceitual pelos alunos. Para o professor, a tarefa mais difícil é a de prover oportunidades aos alunos para que desenvolvam seus esquemas em contexto de cooperação com outros alunos e o professor (Vergnaud 1998 apud Moreira, 2002).

²⁸ Se não o maior físico recifense e um dos mais respeitados no Brasil, trabalhou com mecânica quântica, termodinâmica e astrofísica.

²⁹ Seria, portanto, a falta de intuição a razão do fracasso dos nossos alunos em resolução de problemas?

Moreira (2002) expõe a importância do professor como mediador no processo de aprendizagem que tem como objetivo prover situações frutíferas para os alunos. Nesse ponto, é contemplada tanto a teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, como o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) de Vygotsky.

Muitas são as variações que o conceito de ZDP já sofreu. Dentre elas, temos o conceito dado por Meira (2004) sobre ZDP.

ZDP são campos semióticos constituídos na linguagem e no discurso. Sua emergência depende essencialmente da produção discursiva e contextos dialógicos (...) incluindo-se desde o diálogo propriamente dito (...) a atividades discursivas solitárias. Meira (2004, p.6)

O aluno que precisa desenvolver seu campo conceitual para que seja capaz de aprender algo novo, o faz a partir de uma emergência de uma ZDP num diálogo face-a-face entre ele, o professor e eventualmente outros alunos, e também em atividades solitárias, com um mediador interno em suas reflexões.

Em última instância, o objetivo da educação em ciências é capacitar os alunos a compartilhar significados no mundo científico, gerando novas formas de representações e tornando possíveis novas formas de conhecimento, permitindo-lhes compreender o mundo também a partir da visão das ciências. A aprendizagem do conceito chave como o de campo de forças, é imprescindível para a formação científica dos estudantes não apenas nos cursos universitários, como também no nível médio (Llancaqueo, 2003).

No ensino é muito comum a situação onde se exige do aluno uma compreensão de conceitos que estão além do seu campo conceitual. Estudos em ensino de física ou de ciências mostram-se preocupados com o nível dos campos conceituais dos alunos (alguns estudos não citam este termo) como um trabalho de Zylbersztajn e Souza (2001), onde se fala do enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e a aprendizagem centrada em

eventos. Eles tentam utilizar temas difundidos pelos meios de comunicação ou que sejam do cotidiano, onde se pressupõe que os alunos já tenham um certo conhecimento, para se iniciar uma alfabetização científica com seus alunos (Zylbersztajn & Souza, 2001).

Magalhães et al. 2002, propõe uma forma alternativa de se ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético, inspirada na teoria da *Aprendizagem Significativa*³⁰, de Ausubel e Novak. A idéia é utilizar os problemas enfrentados pelos físicos que os conduziram ao conceito de campo de forças para se extrair elementos que dão significado ao conceito. A história da física é colocada como peça fundamental de auxílio de compreensão de um novo conceito, já que ela revela os ingredientes, lógicos ou empíricos, que foram realmente importantes nesse processo. Neste trabalho foi realizado um questionário com 120 alunos do ensino médio de uma escola pública do Rio de Janeiro, a fim de se determinar os conhecimentos prévios que esses alunos possuíam acerca do conceito de campo. Segue abaixo o questionário:

1. Por que a Terra atrai os corpos para sua superfície ?
2. Ímãs atraem-se ou se repelem? Por que?
3. Imagine-se perdido numa floresta e que você disponha, somente, de uma bússola. Você saberia usá-la?
4. Você já ouviu falar em campo elétrico ? A que você o associa?
5. Você já ouviu falar em campo magnético ? A que você o associa?
6. Você conhece algum fenômeno, em que os campos elétrico e magnético estejam presentes?

³⁰ A aprendizagem significativa ocorre, quando a nova informação ancora-se em *conceitos relevantes* preexistentes na estrutura cognitiva de quem aprende (cf. Magalhães 2002).

100% dos alunos citaram a força gravitacional como força causadora da atração dos corpos para a superfície da Terra. 70% sabem do conceito de atração e repulsão e 64% saberiam usar um bússola. Ao final do curso, os alunos prestaram exame de conclusão da disciplina nos moldes tradicionais e devido ao alto percentual de aprovação, concluiu-se que as respostas dadas ao questionário fornecem alguma indicação sobre o nível de conceptualização dos alunos (entretanto este trabalho não passou por nenhum tratamento estatístico). Ao final, o autor propõe um roteiro para ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético.

Um estudo realizado por Greca e Moreira (1998 b) procurou explorar as representações mentais dos nossos alunos de nível universitário em relação a campo magnético (tanto as intuitivas, como as construídas a partir dos conceitos ensinados em sala de aula), já que acreditam ser particularmente interessante para a melhoria do ensino de ciências entender como se dá o processo de construção e troca dessas representações. Tal pesquisa utilizou como referencial teórico a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983). Para este teórico, o ponto central para o raciocínio e compreensão de mundo é a existência de um modelo de trabalho na mente de quem pensa e compreende. Isto significa que pensar em termos de uma teoria científica implica ter a construção de um modelo mental. Sendo os conceitos científicos codificados proposicionalmente, compreendê-los implica em construir modelos mentais dos processos que eles representam (Greca & Moreira, 1998 b). Os alunos trazem para sala de aula os modelos mentais com os quais já entendiam, imaginavam e explicavam o mundo antes de irem pra escola. Nas situações onde não existe um professor, as pessoas constroem modelos dos fenômenos físicos por si próprias para compreender este mundo. Para a construção destes modelos, as pessoas utilizam em geral três princípios (Johnson-Laird, 1990, apud Greca e Moreira, 1998):

- 1) Todos os eventos têm causa;
- 2) As causas precedem os eventos;
- 3) A ação sobre um objeto é a principal causa para qualquer troca que ocorra nele.

Borges (1998) também usou a concepção de modelo mental de Johnson-laird num trabalho que tinha como objetivo identificar os modelos mentais de eletromagnetismo entre pessoas com diferentes níveis de escolaridade e experiência com eletricidade e descrever as mudanças em tais modelos à medida que tais os usuários adquirem conhecimento e experiência com a área.

Uma investigação exploratória à luz da teoria de Vergnaud sobre a aprendizagem do conceito de campo em Física foi realizada por Llancaqueo et al (2003). Este estudo teve como objetivo relacionar a estrutura formal do conhecimento de campo e a estrutura conceitual que possuíam 55 estudantes de bacharelado, entre 16 e 20 anos de idade, no primeiro ano de universidade, da cidade de Burgos, Espanha. A hipótese geral desse estudo foi a de que quando um estudante se depara com informações acerca de aspectos novos relacionados ao conceito de campo, esta informação entra em interação com conhecimentos prévios, muitos dos quais organizados como conhecimentos-em-ação, ou seja, conhecimentos caracterizados por eficácia funcional porém pouco explicitáveis ou explicáveis conceitualmente.

Quando se ensina o conceito de campo, não se pode esperar que ele seja transmitido ao aluno de forma automática. Para isso é preciso que haja uma interação entre essa informação e a estrutura conceitual que o estudante possui. O nível de interação, portanto, está determinado a partir do desenvolvimento conceitual que cada estudante possui no momento da aula (Llancaqueo et al, 2003).

Os dados obtidos permitiram inferir quais os invariantes operatórios usados pelos alunos para dar conta das situações e se apropriassem de representações simbólicas que os auxiliassem na formação do conceito de campo.

O propósito do instrumento é dispor de um referente com situações e objetos (Vergnaud, 1998) escrito na linguagem natural e das representações simbólicas da física, que dão sentido ao conceito de campo, de maneira que os estudantes através de suas interações com as situações e objetos, manifestem também, diante de sua linguagem escrita ou a linguagem simbólica da física, as propriedades, relações e transformações que dão forma aos invariantes operatórios que utilizam e que representam para eles os significados que atribuem ao conceito de campo. (LLANCAQUEO ET AL., 2003, p. 405)

Nardi (1991), realizou uma pesquisa com 45 sujeitos de uma escola de São Paulo (FEUSP), com idades entre 6 e 17 anos, a fim de verificar a evolução das idéias que levam à noção de campo. Foi utilizada nesta pesquisa o método clínico piagetiano. Esta pesquisa foi realizada levando-se em consideração os seguintes propriedades do campo de forças:

P1. O campo existe em todos os pontos em torno de uma fonte geradora.

P1.1 Se retirarmos a fonte, este campo deixa de existir naquele local.

P1.2 O corpo de prova³¹ não é necessário para que o campo exista.

P2. A atuação da força de campo depende da distância da fonte geradora (segundo leis matemáticas).

P3. O campo é uma grandeza vetorial, isto é, o campo deve ter uma direção e um sentido.

P4. A ação entre dois corpos leva tempo para ocorrer, isto é, não é instantânea.

(Nardi, 1991, p.66)

³¹ Tem esse nome por poder provar que existe um determinado campo de forças naquele local. Uma carga de prova serve para provar a existência de um campo elétrico.

Foram mostradas a cada participante da pesquisa 4 situações que envolviam campo de forças; duas com campo magnético, uma com campo elétrico e uma com campo gravitacional, onde o objetivo era verificar se o entrevistado conseguia generalizar as 4 situações num só modelo – o modelo de campo.

Os alunos foram classificados em 3 níveis de explicações causais, levando-se em consideração as propriedades de um campo, segundo explicitação acima, e se conseguiam generalizar a 4 situações mencionadas.

Ao final, verificou-se que o nível de desenvolvimento da idéia de campo dos entrevistados cresce conforme a série em que se encontram. Notadamente, alunos com 13 e 14 anos (idade onde normalmente se iniciam os estudos de ciências na escola) já foram capazes de responder satisfatoriamente aos questionamentos³².

³² Esta informação é preciosa para esta pesquisa por nos garantir que os sujeitos de nossa amostra são potencialmente capazes de compreender o conceito de campo de forças. Segundo o próprio Nardi, já é possível introduzir o conceito de campo a alunos da 8ª série, ou seja, em torno dos 13 e 14 anos.

Capítulo 3

Metodologia

3.1. Objetivos e justificativa desta pesquisa

Talvez o maior desafio de uma pesquisa sobre ensino de campo de forças seja descobrir como ocorrem os diferentes processos de conceptualização do conceito de campo de forças. Na verdade, não há uma única resposta para essa pergunta, pois não há um caminho único seguido por qualquer indivíduo neste processo. A pretensão deste trabalho, entretanto, foi identificar quais os principais pré-requisitos conceituais que são levados pelos estudantes para a sala de aula antes de terem tido qualquer instrução formal do conceito de campo de forças que os conduzem, após um curso formal, a uma aprendizagem satisfatória, i.e., a um conhecimento avaliado como compatível com os objetivos pedagógicos previamente estabelecidos (cf. Llancaqueo et al, 2003). Queremos com isso, obter mais informações sobre os processos de construção de conhecimento de nossos estudantes, o que tem relação direta com nosso trabalho como professores.

Pesquisas sobre metodologia de ensino [voltadas para o trabalho pedagógico do professor] têm, sem dúvida, muito valor. Neste contexto, a compreensão dos processos cognitivos, da organização mental na compreensão dos conceitos, além das ferramentas cognitivas que indivíduos possuem antes de uma instrução formal, tem especial interesse. O que sabem nossos alunos sobre *força à distância*? E dentre esses saberes, o que é mais importante? Que saberes convergem para um bom desempenho escolar? É o que essa pesquisa quer saber. Pretendemos conhecer melhor o que é imprescindível no percurso do estudo da física para que alguém compreenda satisfatoriamente este conceito considerado

tão abstrato e de difícil compreensão, que é o conceito de campo de forças, mais especificamente, campo elétrico.

No capítulo anterior, relacionamos alguns precursores conceituais que julgamos ter grande importância para o aprendizado de campo de forças. Também no capítulo anterior, listamos os conceitos envolvidos no campo conceitual do campo de forças. A compreensão prévia de cada um destes precursores *deve* ter contribuições mais acentuadas a um ou mais conceitos que envolve o campo conceitual de campo de forças. Por exemplo, queremos saber qual(ais) conceito(s) do campo conceitual de campo de forças são mais facilmente compreendidos pelos estudantes quando o estudante domina previamente o precursor conceitual número 1 ou o 2 ou o 3 etc.

Estas informações poderão ser úteis para trabalhos futuros que pretendam desenvolver métodos de ensino do conceito de campo de forças que poderão, portanto, reavaliar o ensino tradicional deste assunto e propor novas situações que vão auxiliar o aluno a desenvolver esquemas funcionais (Franchi, 1999) ao serem expostos a situações envolvendo o conceito de campo, desenvolvendo-os numa direção de conceptualização correta.

3.2. Ecologia da pesquisa

A coleta de dados e a instrução formal desta pesquisa foi realizada numa escola particular de classe média alta de um bairro de Recife, onde o pesquisador tem inserção profissional como professor. É uma escola com cinco turmas³³ de primeiros anos e quatro 4 de segundos anos, com uma média de alunos, por sala, de 55 alunos. As salas oferecem condicionadores de ar, quadro branco e carteiras confortáveis, bem espaçadas e com uma boa disponibilidade espacial, o que deixa todos os alunos da sala numa posição

³³ As turmas de terceiro ano se situam em outro prédio da escola a algumas quadras das salas dos primeiros e segundos anos, não havendo portanto interação entre esses alunos durante a semana de aulas.

privilegiada para assistir as aulas. A escola oferece recursos áudio-visuais como aparelho de DVD e projetores, além de sala de estudos. As aulas começam todos os dias às 7h10min e terminam no máximo às 12h20min com dois intervalos pela manhã. O pátio da escola não é grande, mas oferece uma quadra poli-esportiva coberta e uma cantina com mesas e cadeiras para refeições.

Durante o ano são realizadas oito avaliações, sendo duas em cada unidade. A primeira avaliação de cada unidade chama-se avaliação parcial (AP), que se caracteriza por ser totalmente discursiva, em que o professor deve corrigir as questões respondidas pelos alunos. A segunda é chamada avaliação de unidade (AU) e se caracteriza por apresentar apenas questões de múltipla escolha. Se a média aritmética destas duas notas na unidade vigente for menor que 7,0 o aluno deve fazer uma avaliação de recuperação da unidade e assistir aulas de reforço oferecidas à tarde pela escola.

O tipo de ensino que predomina é o tradicional, com aulas expositivas, com utilização de livros³⁴ e eventuais apostilas pelos professores. Pode-se dizer que esta é uma escola típica das escolas de classes média e média alta da cidade de Recife que prepara os alunos desde o primeiro ano para o vestibular, mas que incentiva a cultura e o senso crítico de seus alunos promovendo debates, eventos e viagens que buscam favorecer o desenvolvimento de opiniões próprias e senso crítico nos seus estudantes.

Foi pedida a permissão aos diretores da escola para que já no primeiro dia de aula do ano todos os alunos do segundo ano do ensino médio respondessem a um questionário (APÊNDICE D) que fazia parte de uma pesquisa de mestrado do professor de física elétrica dessas turmas³⁵ e que tinha como referência principal assuntos estudados no ano anterior, mas que eram pré-requisitos de assuntos que seriam estudados no ano corrente.

³⁴ Livro de física elétrica adotado pela escola: Cabral, F. Física 3, 2004. São Paulo: HARBRA

³⁵ Conforme informado no início deste capítulo, o professor é o pesquisador.

3.3. Abordagem e procedimento em sala de aula.

Já no primeiro dia de aula, após a apresentação do novo professor de física elétrica aos alunos de segundo ano do ensino médio, foi pedida a participação de todos numa pesquisa de mestrado do seu professor de física, onde eles deveriam responder a um questionário contendo questões estudadas no ano anterior por eles. Todos os alunos foram deixados á vontade para não responderem o questionário, mas não houve recusas ou desistências, o que nos aparentou uma grande disposição de cooperação em todas as quatro turmas.

Gostaríamos de fazer um comentário aparte do objetivo desta pesquisa. Foi muito interessante verificar o comportamento dos nossos alunos ao resolver o questionário. Foi deixado bem claro que este questionário não contaria ponto ou nota para nenhuma de suas provas do ano e que queríamos apenas que eles resolvessem as questões usando seus conhecimentos, sem a ajuda de nenhum outro colega e que se alguma resposta deles fosse avaliada como errada, isto também seria importante para a pesquisa. É importante frisar que isto foi dito repetidas vezes, inclusive durante a resolução do próprio questionário.

Talvez pelo fato do corpo do teste se parecer com as avaliações que eles estão acostumados a realizar na escola e pela cultura imposta pela escola da necessidade do aluno chegar a um resultado correto nas provas, notou-se, primeiro, que era quase irresistível pra alguns alunos olhar rapidamente de lado ou até mesmo “filar” ou “colar” dos colegas. Entretanto este comportamento foi minoritário e rapidamente reprimido, sem comprometer a validade das avaliações.

Segundo, alguns alunos nos chamavam constantemente em suas bancas pra conferir se suas respostas estavam certas ou “se era mais ou menos aquilo que eles haviam escrito”. Ou seja, boa parte dos alunos se importou em fornecer respostas corretas, independentemente do questionário estar servindo de nota escolar ou não.

Ao final do questionário, os alunos receberam uma documentação que continha o termo de consentimento (APÊNDICE F), que deveriam levar pra casa para ser assinado pelo responsável e trazer na aula seguinte. Convém desde logo esclarecer que o ano letivo continuou independentemente do decorrer da pesquisa. Iniciaram-se os estudos de física elétrica de forma tradicional, com os conceitos de carga elétrica e processos de eletrização, passando pela Lei de Coulomb até se discutir aplicação de força à distância através de diferentes campos de força³⁶. A avaliação AU da primeira unidade tinha, portanto, como assunto a ser cobrado, todos os tópicos citados acima. Foi de acordo entre o professor e todos os alunos que seria anexado a esta AU uma outra avaliação focando exclusivamente campo de forças, com ênfase em campo elétrico. Infelizmente não foi possível usá-la como uma avaliação de unidade por se apresentar num formato diferente da avaliação de AU, servindo apenas como forma de ajudar na nota de avaliação AP subsequente.

Dos 197 alunos que resolveram o primeiro questionário restaram 142 participando da pesquisa por dois motivos:

- a) apenas 180 resolveram a avaliação, ou seja, 17 alunos faltaram o dia da avaliação por qualquer motivo.
- b) 37 avaliações foram descartadas por identificarmos falta de interesse do aluno em resolver as questões, com a metade ou mais das questões entregues em branco, sem nenhum indício de tentativa de resolução.

3.4. Procedimento.

No primeiro dia de aula foi realizado um teste (ver APÊNDICE D) com 11 perguntas relacionadas com o que acreditamos fazer parte do campo conceitual de campo de forças. O efetivo global de partida de 197 alunos do segundo ano do ensino médio da

³⁶ A seqüência didática sobre campo de forças utilizada pelo professor encontra-se no APÊNDICE C

escola onde foi realizada a pesquisa respondeu aos itens deste questionário. Estas perguntas procuraram averiguar o nível de conhecimento que estes alunos tinham acerca dos conteúdos estudados no ano anterior relacionados ao conceito de campo de forças. No APÊNDICE B há uma descrição do objetivo de cada pergunta.

O teste foi realizado ao mesmo tempo por todos os alunos de uma mesma turma. Cada questão foi lida uma a uma com intervalos aproximadamente de 3 a 5 minutos entre elas para que fossem respondidas. Tal intervalo de tempo permitiu que todos os alunos respondessem à questão proposta, antes de se passar para a questão seguinte. Dúvidas sobre o enunciado foram respondidas coletivamente (em voz alta, pelo professor-pesquisador) sempre se deixando claro que essas perguntas e as respostas feitas em voz alta não poderiam ajudar ou “dar dicas” de resolução para os demais os demais alunos. As regras foram obedecidas e tudo transcorreu dentro do que esperávamos. Sabíamos que esse procedimento não permitiria uma investigação mais detalhada sobre o tipo de resposta que cada aluno deu, como se faz no método clínico piagetiano. Por outro lado, com o procedimento utilizado, conseguimos uma quantidade muito boa de questionários (quase 200), que nos permitiu tirar conclusões mais gerais acerca dos resultados obtidos.

O teste foi realizado em duas etapas. Inicialmente foi dada uma folha avulsa com as questões da primeira página e após a resolução destas questões por todos os alunos, todas as folhas foram recolhidas, para então distribuir-se a segunda parte. Este procedimento foi necessário porque na segunda parte havia desenhos com ímãs, o que poderia interferir na resposta da pergunta numero 3 (APÊNDICE D).

Cada questão de cada aluno recebeu uma referência numérica que identificava um determinado padrão de resposta (APÊNDICE B) e que foram alocados numa tabela. Após a instrução formal, que se iniciou com uma discussão sobre a possibilidade de ação à distancia, passando pelos conceitos básicos da eletrostática ate todo formalismo

matemático que envolve o conceito de campo elétrico, foi realizada uma avaliação sobre campo de forças, com ênfase em campo elétrico. Os detalhes dessa instrução formal encontra-se no APÊNDICE C.

3.5.Caminhos percorridos.

O instrumento de pesquisa dessa dissertação passou por algumas etapas de aprimoramento importantes e que julgamos importante descrever. Foram necessários alguns ajustes até se obter um conjunto de questões e procedimentos satisfatórios. Desde o princípio, já tínhamos a idéia de elaborar um questionário donde se poderiam extrair informações sobre o nível de conceptualização que os alunos possuíam acerca de campo de forças e verificar que conceitos e ferramentas eles já dominavam ou não. Com estas informações em mãos, poder-se-ia posteriormente fazer uma relação entre os resultados finais de cada aluno com o resultado do questionário inicial. Esta idéia nos pareceu simples e eficiente e foi mantida até o final deste projeto.

Todos os questionários foram elaborados com questões de assuntos supostamente já estudados por alunos concluintes do primeiro ano do ensino médio. E em todos eles sempre se buscou questionar o aluno de como seria possível um corpo agir sobre o outro sem que estes estivessem em contato entre si. Utilizamos alguns pequenos grupos de alunos que convidamos para responder os primeiros questionários. A partir dos tipos de respostas que encontramos é que pudemos verificar a necessidade de alteração das questões que são relatadas a seguir.

O primeiro questionário (ver APÊNDICE H) trazia a situação da Terra girando em torno do Sol onde se perguntava que força agia sobre a Terra e quem aplicava esta força em comparação com um objeto que girava preso a um barbante. Não funcionou. Primeiramente porque não tínhamos a informação que estes alunos ainda não haviam

estudado força centrípeta (o que era esperado por nós). Em segundo lugar, porque a abordagem de tal pergunta demandava a consideração do conceito de inércia, o que se mostrou uma ampliação de campo conceitual além das possibilidades dos alunos. Tais constatações motivaram a proposição de uma pergunta que se restringisse à idéia de ação à distância. Cinco alunos que resolveram este primeiro questionário foram descartados da amostra global.

A versão seguinte trazia uma situação de um objeto sendo puxado por uma pessoa através de uma mola (ver APÊNDICE I). Em comparação a esta situação, foram colocados dois ímãs se atraindo, onde se pedia a representação das forças de atração. Havia dois graves problemas nessa apresentação. Primeiramente, o aluno que nunca estudou magnetismo não sabia o significado das marcas “N” e “S” (pólos norte e sul) nos ímãs, o que causou uma perturbação na resolução que fugia ao nosso interesse. Mesmo com a nossa ajuda, muitas das representações ocorriam sobre cada um dos pólos (em alguns casos com eles próprios se atraindo) e não sobre um único corpo como esperávamos. Segundamente, que esta imagem de dois ímãs sendo colocados frente a frente logo na primeira página trazia dois inconvenientes: 1) interferia na resposta da segunda questão; 2) não permitia uma pergunta do tipo: *“Seria possível dois corpos se atraírem ou se repelírem sem que haja um fio ou uma mola interligando-os? Exemplifique”* como uma situação nova, ou seja, antes de qualquer menção ou referência sobre força à distância. A alteração foi feita e a pergunta aparece na questão de número 3 do APÊNDICE J.

O APÊNDICE J ainda apresentava falhas. A primeira pergunta não nos deixou seguros quanto ao domínio ou não da distinção entre as grandezas escalares e vetoriais. Isso porque as grandezas velocidade, deslocamento e aceleração são estudadas de praxe, e erroneamente, no primeiro ano do ensino médio como sendo de “dois tipos”. Por exemplo, no começo do ano se estuda velocidade escalar para mais adiante se estudar a velocidade

vetorial. Com isso, o aluno poderia classificar essas grandezas das duas formas, ou simplesmente escolher uma das duas aleatoriamente ou dentro do que lhe parece mais familiar.

A segunda questão pecava gravemente na clareza do enunciado e da figura utilizada. A figura não deixava claro para onde se movia o objeto. Não se sabia se a pessoa estava puxando, empurrando, ou ainda agitando o objeto. Além disso, acreditamos que as perguntas da segunda questão foram feitas na ordem contrária. Seria melhor pedir que primeiro os alunos desenhassem todas as forças que atuavam no corpo para então perguntar qual a força responsável pelo movimento dele.

Na quinta questão, notamos que mesmo que o aluno respondesse que o menor corpo move-se com aceleração maior, nenhuma inferência poderia ser feita acerca do motivo pelo qual isso acontece. Seria porque ele possui menor massa? Ou seria porque o maior o puxa com uma força maior? Por fim, com relação à sétima questão, só podemos dizer que não nos foi muito pouco útil. A intenção era procurar saber se o aluno saberia relacionar o sentido da força resultante com o vetor aceleração, mas não conseguimos enxergar isso nos questionários. As demais questões atenderam aos seus propósitos e foram mantidas. O questionário final (ver APÊNDICE D) foi então aplicado a todos os alunos no horário normal de aulas de eletricidade.

Após a aplicação deste questionário inicial, pretendíamos reunir os alunos no turno oposto ao turno de aulas e ministrar um curso sobre campo de forças. Portanto, estes alunos estariam indo para a escola com um único objetivo que era o de contribuir e participar de uma pesquisa científica. Após o período de aulas, eles deveriam estudar todo o assunto simulando uma preparação para uma avaliação que estaria por vir. Esta avaliação teria o mesmo formato das avaliações tradicionais que se realizam na escola onde estudam.

Sabíamos que a dedicação desses alunos e o empenho em resolver as questões da avaliação estariam um pouco distantes da situação real de aulas e avaliação que ocorre nas escolas, mas não tínhamos outra opção.

Poder-se-ia convidar o professor destes alunos no ano seguinte a participar da pesquisa, seguindo uma programação que se adequasse ao que queríamos. Esta alternativa tornaria a avaliação mais real, porém teríamos que interferir diretamente na elaboração da avaliação de outro professor.

Coincidentemente, a escola onde foi feita a coleta inicial de dados com o questionário escalou o mestrando desta dissertação a ser o professor das turmas de segundo ano de ensino médio do próximo ano, turmas estas onde estariam todos os alunos que vinham participando da pesquisa. Desta forma, a pesquisa passou a acontecer com aulas e avaliações sem simulações, onde os alunos precisaram se dedicar ao aprendizado exatamente como fariam independentemente da existência desta pesquisa.

O ano começou com os alunos tendo aulas sobre os conceitos básicos da eletricidade e até antes da avaliação já haviam estudado o conceito de campo elétrico, sendo uma das etapas mais difíceis achar uma maneira funcional de aplicar esta avaliação.

Inicialmente, pensamos em convocar os alunos a virem no turno da tarde, quando não tinham aulas, para realizar a avaliação com a premiação de serem ajudados com pontos na avaliação que estava por vir. Esta premiação serviria de estímulo extra para que eles se preparassem adequadamente. Essa idéia foi descartada por sermos alertados pelos próprios alunos de que a abstenção seria muito alta.

Com o receio que tínhamos dos alunos realizarem a avaliação sem a devida preparação [mínima], resolvemos aplicar esta avaliação pela manhã, ocupando os dois últimos horários de aula que foram gentilmente cedidos pelos professores e autorizado pela direção da escola.

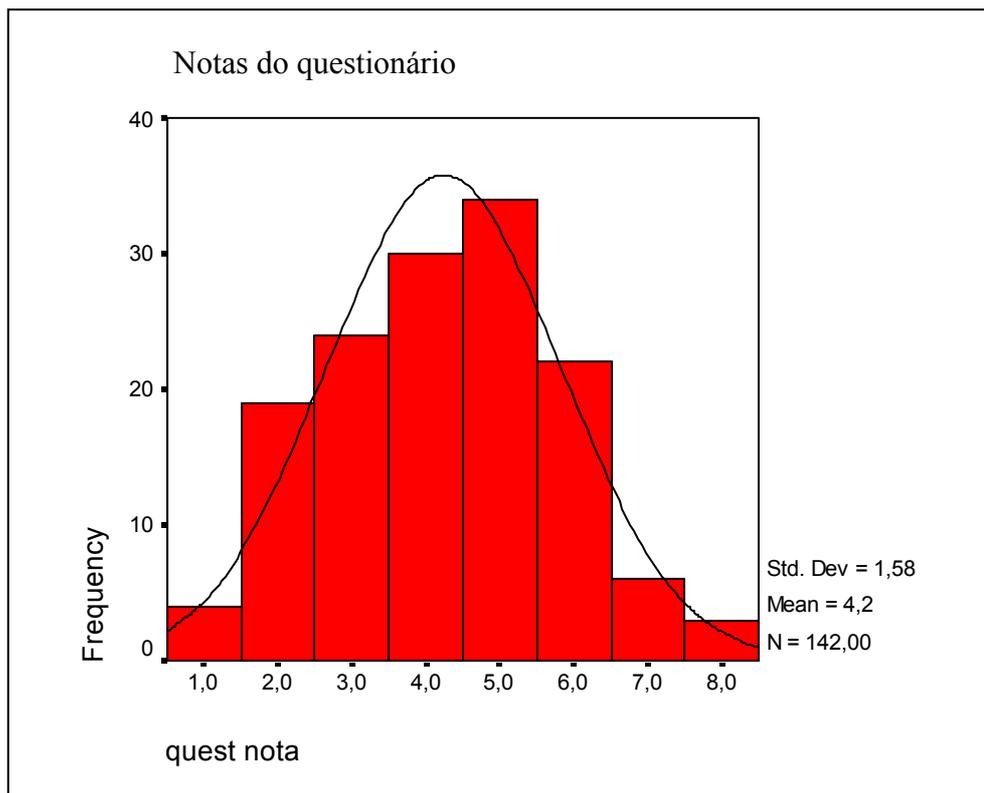
A resolução da avaliação seguiu os mesmos padrões da resolução de uma avaliação comum, ou seja, individual, com cada aluno lendo e interpretando as questões por conta própria.

3.6 Respostas e comentários das questões do questionário.

Como já foi dito acima, havia a necessidade se reavaliar a funcionalidade de algumas questões. Todas as alterações resultaram na formulação do questionário final utilizado junto aos alunos (APÊNDICE D). Para criarmos uma classificação nos tipos de respostas, foi necessário primeiramente corrigirmos uma quantidade razoável de questionários. Na verdade, por mais experientes que fôssemos, não seria eficiente criar uma classificação anterior à correção das questões. As respostas seguem um padrão de acertos e erros semelhantes e muitas vezes surpreendentes.

De uma forma geral, os alunos tiveram um bom desempenho na resolução das questões do questionário, com um grande percentual de notas em torno de 50% de acertos e uma média geral igual a 4,2³⁷, conforme mostra o gráfico abaixo.

³⁷ Este questionário possibilitava uma nota máxima igual a 9.



Histograma 1: Distribuição percentual das notas dos alunos no questionário

O detalhamento das questões respondidas pelos alunos com os padrões de respostas apresentadas por eles são comentados a seguir.

A primeira questão foi totalmente reformulada e deixou o aluno com a liberdade de desenhar a passagem a qual se referia o anúncio. Através do desenho, podemos ter mais convicção do domínio ou não do que é uma grandeza escalar ou vetorial. Além disso, na nossa inquirição, podemos inferir qual o nível de representação dessas grandezas esses alunos possuíam³⁸. A classificação foi feita em 4 níveis, que iam desde o domínio das diferenciações das grandezas, bem como sua correta representação até a incapacidade de fazer qualquer tipo de figura que fosse condizente com o enunciado.

³⁸ A grandeza velocidade foi a que mais foi tratada como uma grandeza escalar, não sendo representada por um vetor.

Questão 1:

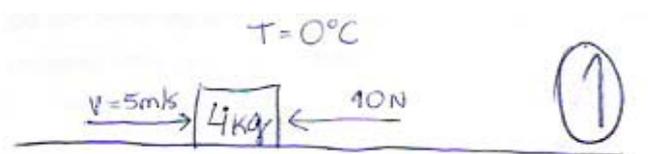
Um bloquinho de gelo a 0°C e com uma massa de 4kg foi lançado numa superfície com uma velocidade de 5m/s . Uma força de 10N foi aplicada sobre o bloquinho fazendo-o reduzir sua velocidade. Faça um desenho ilustrando o bloquinho em movimento e represente todas as grandezas citadas no enunciado (velocidade, força, massa e temperatura).

Classificação das respostas à questão 1:

1 – Domina a diferença entre grandezas escalares e vetoriais.

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- representação das grandezas escalares apenas por valor numérico e unidade;
- representação das grandezas vetoriais por flechas;
- sentido da força aplicada contrária ao movimento.

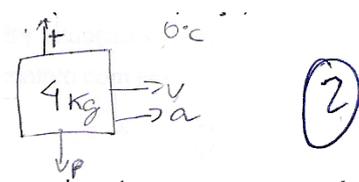


Aluno(a) 197

2 – Diferencia, mas não representa corretamente as grandezas escalares e vetoriais.

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- representação das grandezas escalares apenas por valor numérico e unidade;
- representação das grandezas vetoriais por flechas;
- ausência da representação da força oposta ao movimento do bloquinho, porém representação correta das forças peso e normal.
- representação com sentido contrário do vetor aceleração



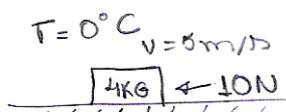
Aluno(a) 176

Comentário: O vetor aceleração apontando no mesmo sentido do movimento mostra a falsa dependência que existe entre estas grandezas trazida constantemente pelos alunos.

3 – Não reconhece o caráter vetorial das grandezas força e/ou velocidade ou o caráter escalar das grandezas massa e/ou temperatura.

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- representação das grandezas escalares apenas por valor numérico e unidade;
- ausência da representação do vetor velocidade.



(3)

Aluno(a) 183

4 – Não conseguiu fazer um esquema (desenho) condizente com o enunciado ou não sabe representar as grandezas corretamente.

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- ausência de qualquer grandeza vetorial representada no desenho
- desenho com formato muito diferente do que sugere o enunciado.

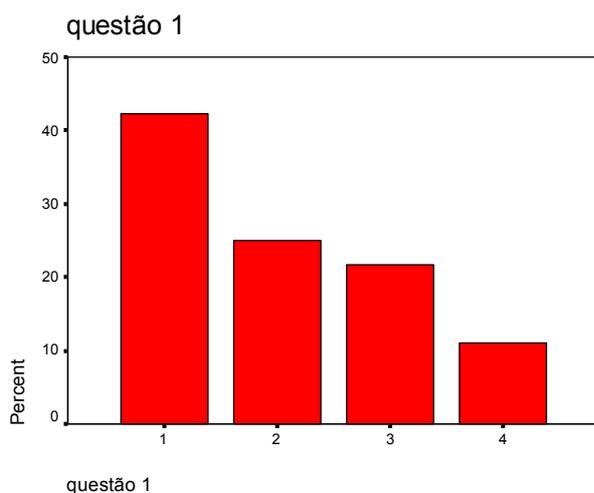
Temp. $\Rightarrow 0^\circ\text{C}$
 Vel. $\Rightarrow 5\text{ m/s}$
 Força $\Rightarrow 5\text{ N}$

massa $\Rightarrow 4\text{ Kg}$

(4)



Aluno(a) 164



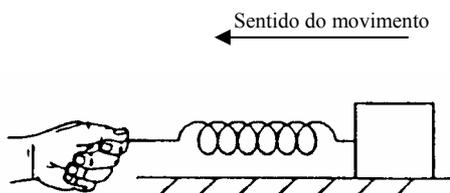
Histograma 2: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentadas na questão 1 do questionário.

Após as alterações realizadas na segunda questão, ficamos satisfeitos com o seu resultado. Pareceu-nos que o enunciado desta forma ficou claro e todos que dominavam a representação de forças não tiveram problemas em representá-las. Esta questão oferecia duas perguntas (a) e (b)³⁹, onde identificamos 3 padrões de respostas principais em cada uma delas.

Questão 2:

Um bloquinho preso a uma mola estava em repouso e é puxado passando a se mover para a esquerda, como indica a figura.

- Represente, na própria figura, todas as forças que agem sobre o bloquinho.
- Quem aplica a força sobre o bloquinho que o faz entrar em movimento?

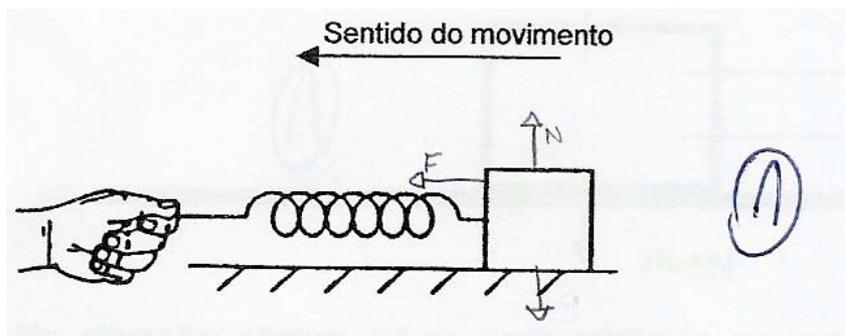


³⁹ As respostas da letra (b) foram do tipo “a mão” ou “a mola” ou simplesmente não responderam, não sendo necessário portanto nenhuma imagem dos diferentes tipos de resposta.

Classificação das respostas à questão 2:

2(a)

1- representa corretamente.

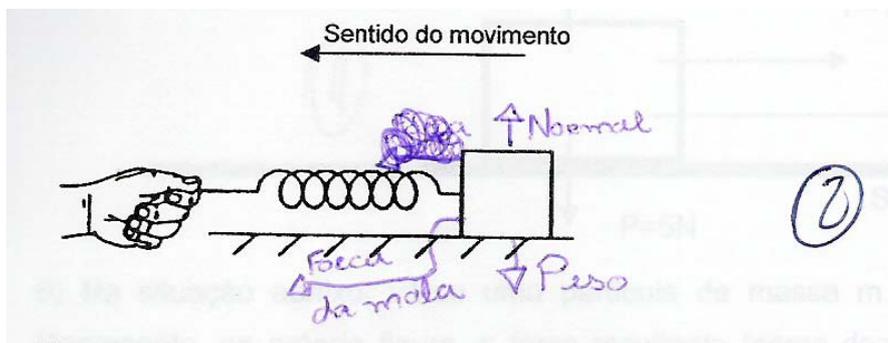


Aluno(a) 196

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- força peso apontando para baixo, normal perpendicular à superfície de contato e força elástica no sentido do movimento.

2- Tem noção das forças que atuam, mas não representa todas as forças corretamente.



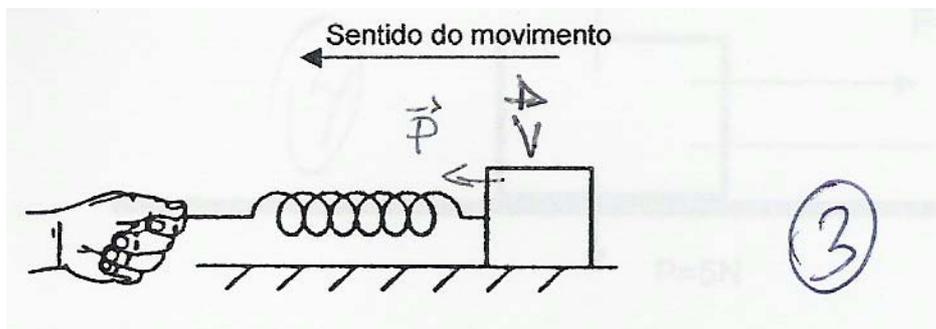
aluno(a) 156

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- a força elástica não é representada por um vetor

Comentário: a representação a força elástica da maneira mostrada acima, mostra a falta de rigor matemático do(a) aluno(a) acerca do que é um vetor.

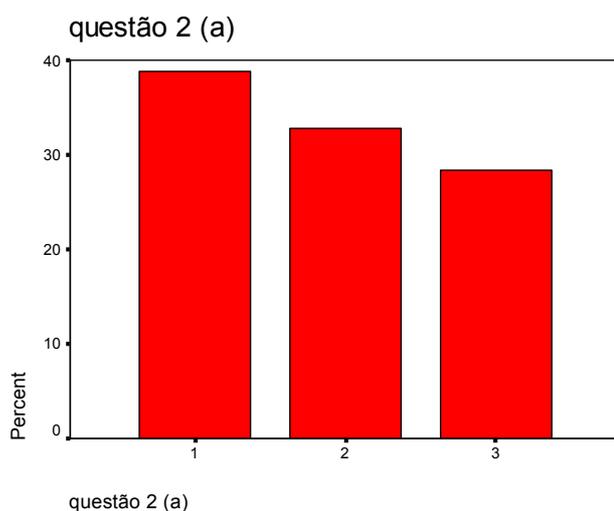
3- Não representa corretamente/ não respondeu



Aluno(a) 155

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- força peso representada para a esquerda
- ausência das demais forças que atuam no bloco



Histograma 3: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentadas na questão 2(a) do questionário

2(b): A resposta correta a esta pergunta 2b seria a mola. Ela serve de intermediadora entre a mão do sujeito e o bloco. Assim como afirma a teoria newtoniana, as forças só podem aparecer aos pares, devido a ação de um corpo sobre o outro e a reação deste último sobre o primeiro. Desta forma, a mão interage com a mola que por sua vez interage com o bloco. De forma semelhante podemos compreender a ação de um campo elétrico sobre uma carga

elétrica de prova. O campo, neste caso, é o intermediador entre a carga geradora e a carga de prova.

1- A mola

2- A mão

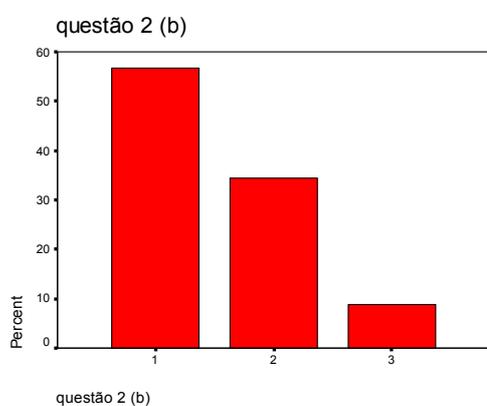
Comentário: Esta resposta nos indica que o sujeito “vê” uma ação direta da mão sobre o bloco. Esta forma de compreender como se dá a interação entre os corpos pode ser percebida numa situação de ação à distância se pergunta ao aluno quem aplica a força sobre uma carga de prova, onde se responde “a carga geradora” em vez de se responder o campo elétrico, que seria a resposta mais correta.

3- Ofereceu alguma outra resposta errada/ não respondeu

“o movimento do corpo” Aluno(a) 18

Aspectos da resposta que o atribuem esta classificação:

- não oferece informação suficiente sobre quem provoca o movimento do corpo.



Histograma 4: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentadas na questão 2(b) do questionário

Na terceira questão, foi interessante notar que alguns alunos usaram situações de colisão como situações de interação à distância. Algumas respostas deste tipo, porém mais elaboradas, citaram o vento como exemplo. Todavia, a maioria esmagadora se referiu aos ímãs como exemplo, enquanto poucos citaram a ação do campo gravitacional ou campo

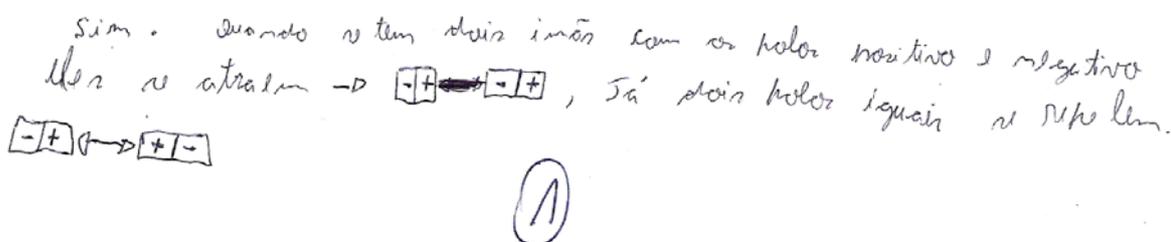
elétrico. É interessante notar que dos três tipos de campos de força, o gravitacional deveria ser o mais fácil de se perceber em nossas vidas. Isso não foi refletido nas respostas dos alunos. Identificamos 3 padrões de repostas para essa questão.

Questão 3:

Seria possível dois corpos se atraírem ou se repelirem sem que haja um fio ou uma mola ou qualquer outra coisa material interligando-os? **Exemplifique.**

Classificação das respostas à questão 3:

1 - Alguma noção de força à distância e/ou com referência a ímãs ou cargas.



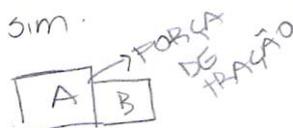
“Sim. Quando se tem dois ímãs com os pólos positivo e negativo eles se atraem ..., já dois pólos iguais se repelem ...”

Aluno(a) 152

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- texto e desenhos indicam que o aluno sabe da existência de interação à distância, com referência à atração e repulsão através de pólos.

2 - Utilização de representação fazendo apelo a uma interação por contato para representar a ação à distância:



Aluno(a) 158

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

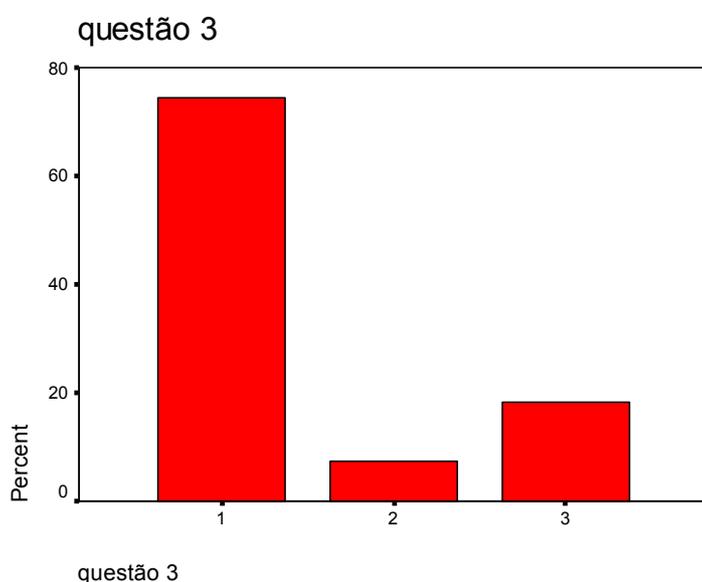
- Desenho de dois blocos em contato, onde um pode empurrar o outro.

3 - Não respondeu/ não forneceu uma explicação clara/ não acredita que possa haver tal situação.

“Sim. Dois corpos em superfícies não planas são lançados na mesma direção ou em direções diferentes” Aluno(a) 153

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- o texto não sugere uma situação de interação à distância



Histograma 5: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentadas na questão 3 do questionário

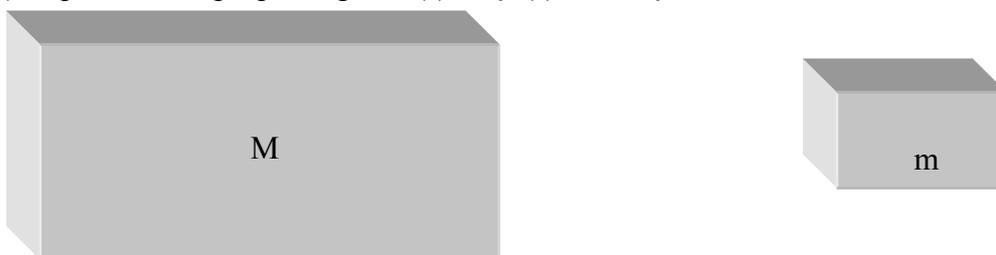
A quarta questão (a) tinha como principal foco perceber se o aluno conseguia representar as forças aplicadas à distância da mesma forma que se faz na aplicação de força por contato. Uma quantidade muito grande dos alunos se mostrava ciente que deveria haver um par de forças com sentidos opostos, mas muitas das representações apresentavam erros na aplicação da força, representando-as com suas origens no espaço entre os ímãs, ou tratando os vetores como corpos materiais, que se ligavam ou se juntavam, ou ainda com

excesso de forças de atração, como se fossem vários pares de forças de sentidos opostos. Alguns alunos representaram estas forças como forças mecânicas, como tração ou atrito, sendo a maioria quase total deste universo como sendo de tração. Foram identificados 4 tipos de resposta padrão para esta primeira pergunta da quarta questão.

Questão 4:

4) A figura abaixo mostra dois ímãs que se atraem.

a) Represente na própria figura a(s) força(s) de atração entre eles.



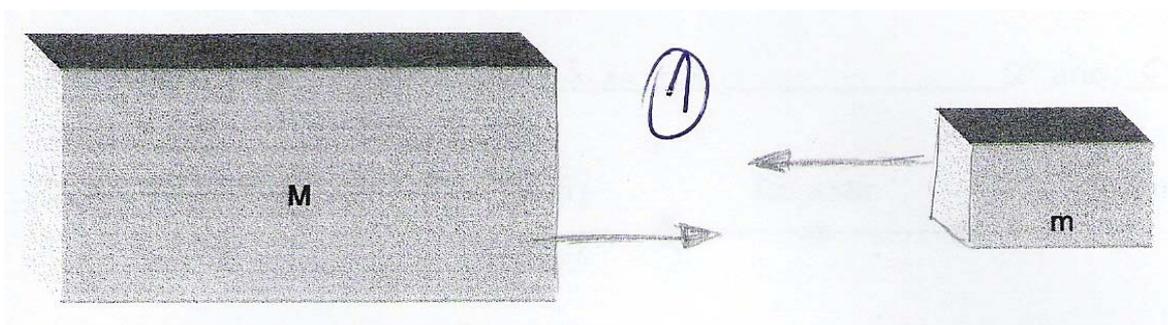
b) Qual dos dois move-se com maior aceleração? **Explique porque.**

c) Você conhece alguma outra situação em que um corpo é capaz de puxar ou empurrar outro corpo mesmo sem estar em contato com ele?

Classificação das respostas à questão 4:

4(a)

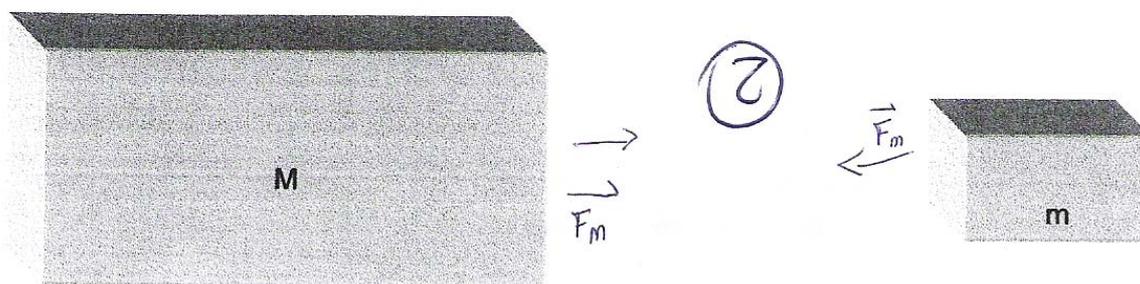
1 - Representa corretamente.



Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- representa dois vetores com sentidos contrários de mesma intensidade, aplicados em cada um dos ímãs.

2 - Tem boa noção, mas apresenta alguma deficiência na representação, especialmente nos pontos de aplicação das forças.



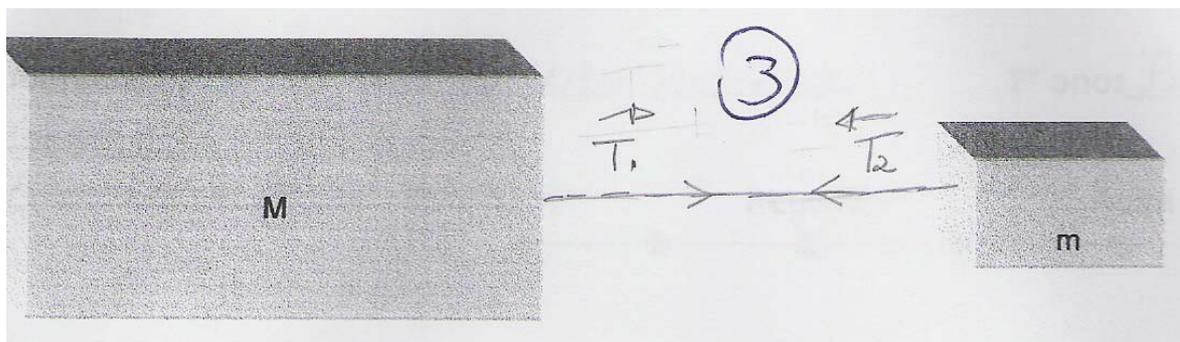
Aluno(a) 108

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- representa forças de sentido contrário, que indicam uma atração;
- não representa um par de forças apenas

Comentário: o excesso de vetores mostrado na figura mostra a insegurança do(a) aluno(a) na forma como os corpos interagem, explicitado pela terceira lei de Newton. Esta mesma aluna também mostrou deficiência ao representar as forças na questão com o bloquinho e a mola, o que nos leva a crer que uma vez que há deficiência na representação das forças numa situação por contato, também haverá deficiência numa situação de força à distância.

3- Referiu-se à força magnética como força de tração ou qualquer outra força mecânica.



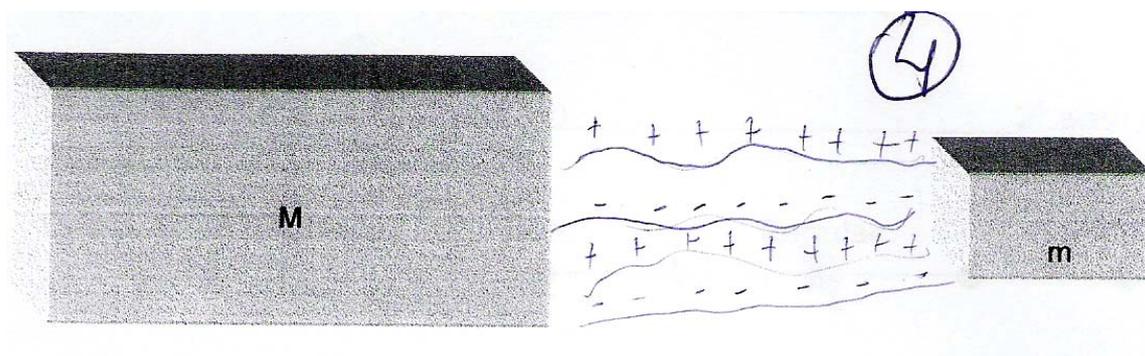
Aluno(a) 02

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- citação das forças de atração como força de tração.

Comentário: O(a) aluno(a) indica as forças de atração como uma força de tração, representada pela letra T na figura. Este procedimento parece indicar que este sujeito não aceita a interação entre corpos à distância, sem um ente material entre os corpos, como um fio, por exemplo.

4- Não demonstra perceber a interação entre os dois corpos/ não representa por vetores/ não respondeu.

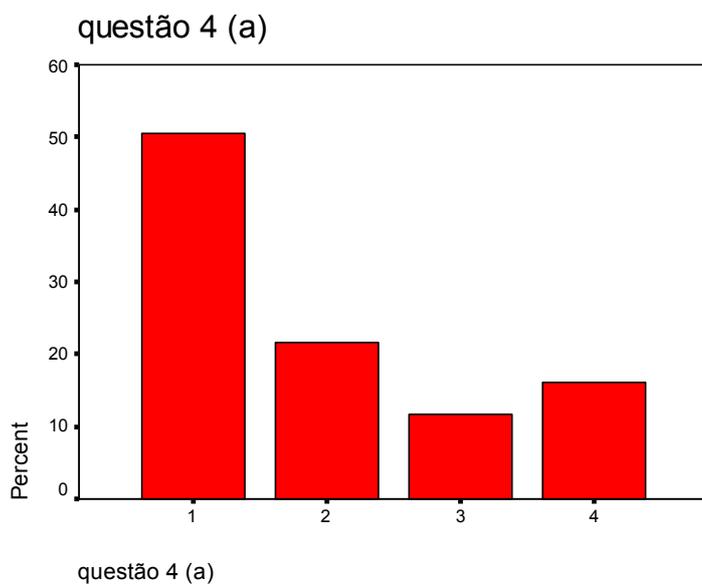


aluno(a) 140

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- ausência da representação de forças atuando sobre os ímãs.

Comentário: A representação mostrada acima indica a tentativa de se representar a atração entre os ímãs totalmente diferente do que sugere a teoria newtoniana. A representação dos sinais + e – nos faz crer que o(a) aluno(a) se utiliza da idéia de carga elétrica como atração entre os ímãs.



Histograma 6: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentadas na questão 4(a) do questionário

A quarta questão (b) apresentou uma falha na formulação da questão. Foi grande a incidência de repostas do tipo “o menor, porque tem menos massa” e essa resposta não nos assegura de que o aluno está seguro de que as forças atuantes nos dois ímãs têm mesma intensidade. Poderíamos apostar, inclusive, que na maioria delas, eles não têm essa segurança. Isso é corroborado com algumas repostas do tipo “o menor, pois tem menos massa e além disso o maior puxa o menor com uma força maior”. Por outro lado, as repostas do tipo “os dois” tiveram diferentes justificativas, havendo um predomínio de justificativas do tipo “pois as forças que atuam neles têm mesma intensidade”,

negligenciando a importância da massa na aceleração. Sendo assim, classificamos em 6 diferentes tipos de respostas a letra b.

4(b)

1 – responde “o menor” justificando-se por ter massa menor.

“o menor, porque tem menos massa” Aluno(a) 102

2 - Responde “o menor” utilizando a idéia de forças dos módulos diferentes. (o ímã maior aplicando uma força maior no ímã menor).

“O menor porque tem menor força eletromagnética fazendo com que o maior o atrai e construa uma aceleração maior” Aluno(a) 107

3 – responde “o menor” mas não justifica/ justificativa incorreta.

“Acho que é o menor, não sei porque, juro que é um chute” Aluno(a) 09

4- responde “o maior” sobre qualquer justificativa.

“O maior, pois é pelo fato de ser maior tem mais força de atração elétrica ou eletrostática” Aluno(a) 89

5- respondeu “os dois”.

“os dois, pois eles tem a mesma força de atração” Aluno(a) 99

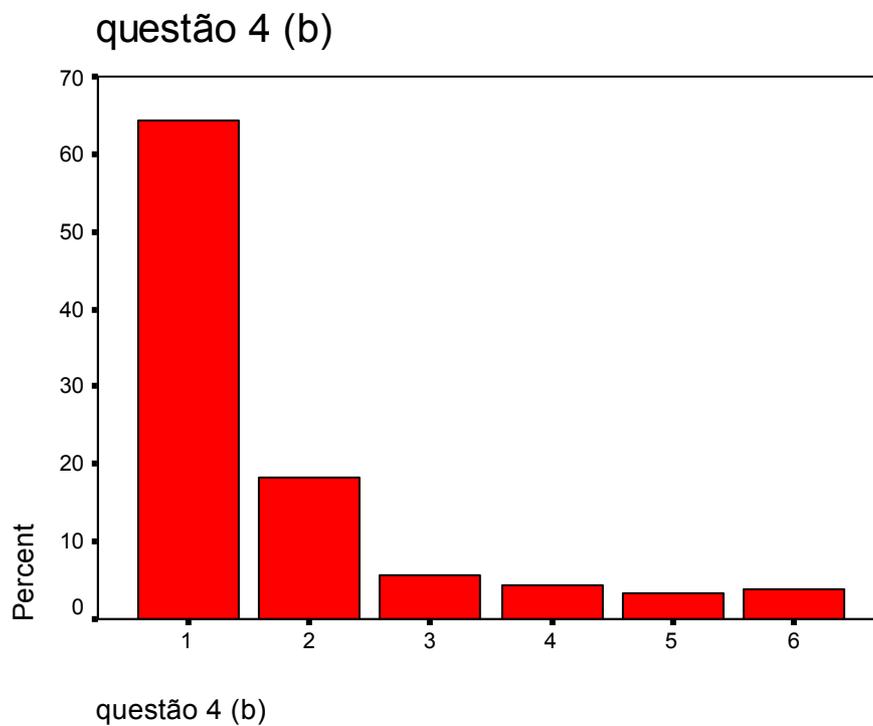
6- Alguma outra justificativa errada/ não respondeu.

“os dois possuem a mesma aceleração, mas velocidades diferentes, por causa da massa”

Aluno(a) 67

Aspectos da resposta que o atribuem esta classificação:

- resposta errada por indicar mesma aceleração aos ímãs e que não se enquadra em nenhuma das classificações anteriores.



Histograma 7: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentadas na questão 4(b) do questionário

Agora com relação à quarta questão (c), tivemos uma riqueza muito grande de respostas. Foram muitas as respostas que citaram o campo gravitacional como exemplo de força aplicada à distância, mas também tivemos exemplos citando campo elétrico. Às vezes a citação vinha com exemplos do tipo “os astros se atraem” ou “os cabelos do braço ficam em pé quando a gente desliga a televisão”. Essas respostas nos indicam que esses são alunos, ou melhor, pessoas que buscam alguma explicação sobre este tipo de fenômeno da natureza, ou ainda, outros fenômenos físicos quaisquer. Mesmo respostas cientificamente erradas para exemplos de força aplicada à distância como “o vento empurrando um papel” ou “a chama queima o plástico mesmo sem estar em contato com ele”⁴⁰ mostram uma

⁴⁰ Só houve uma referência deste tipo, que foi do aluno N° 132.

tentativa de formulação teórica para um fenômeno que desequilibrou este aluno. Segue as classificações de resposta para a quarta questão (c).

4(c)

1 - Referiu-se a efeitos gravitacionais ou elétricos.

“sim, os planetas” Aluno(a) 87

2- Exemplificou uma situação com interação por contato, como o vento.

“é capaz de empurrar. Se uma pessoa soprar um papel pode se mover” Aluno(a) 86

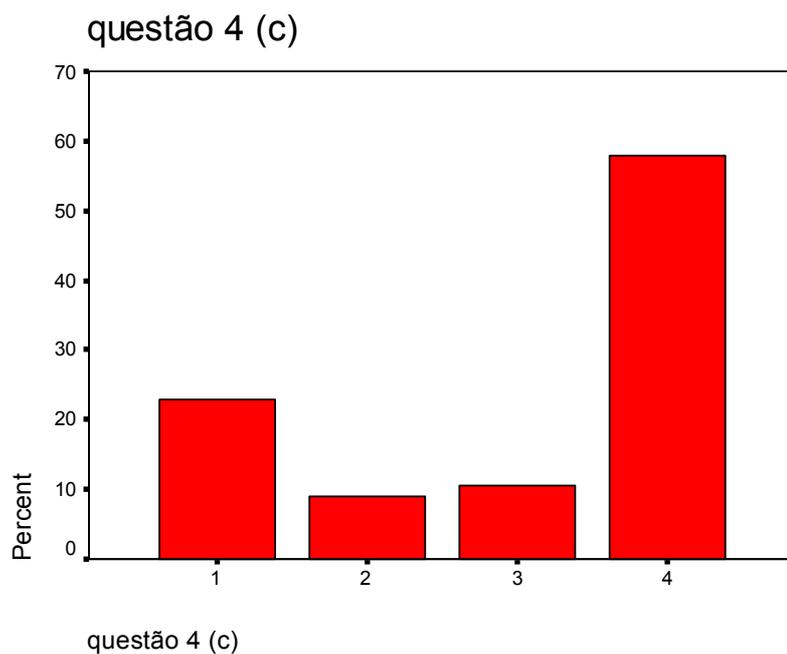
3 – Sugeriu outro exemplo com ímãs.

“sim. Um ímã ele tanto atrai outro ímã como ele atrai qualquer outro tipo de metal”

Aluno(a) 81

4 – Alguma outra justificativa errada/ Não sabe / Não respondeu .

“não” Aluno(a) 80



Histograma 8: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentadas na questão 4(c) do questionário

A quinta questão também foi muito rica, oferecendo diversos tipos diferentes de procedimentos para chegar às respostas.

Questão 5:

Na figura abaixo, calcule a força resultante sobre o bloquinho.

Diagrama de um bloquinho sobre uma superfície sem atrito. O bloquinho está sujeito a quatro forças: uma força normal $N=5\text{N}$ apontando para cima, uma força peso $P=5\text{N}$ apontando para baixo, uma força $F=10\text{N}$ apontando para a direita, e uma força resultante $F_R =$ apontando para a direita. A aceleração do bloquinho é dada como $a=20\text{m/s}^2$.

Uma boa parte dos alunos respondeu simplesmente “10”, sem nos permitir inferir sobre o raciocínio usado na resolução e tivemos que julgar que ele somou mentalmente as forças. Já outros deixaram claro que utilizaram a soma vetorial, pois mostravam através de rabiscos que haviam entendido que as forças peso e normal se equilibraram, o que tornava a soma destas forças igual a zero. Uma parcela significativa preferiu descobrir inicialmente o valor da massa deste corpo para poder aplicar a 2ª Lei de Newton⁴¹ e achar corretamente a resposta.

Quando esta quinta questão foi criada, pensamos especialmente que os alunos poderiam somar os valores das forças com o da aceleração, o que mostrava uma não distinção entre grandezas vetoriais de natureza diferentes. Realmente esse padrão de resposta apareceu com razoável frequência, mas o resultado “200N”, que nos indicou uma multiplicação dessas grandezas foi mais frequente. Este último padrão de resposta indica

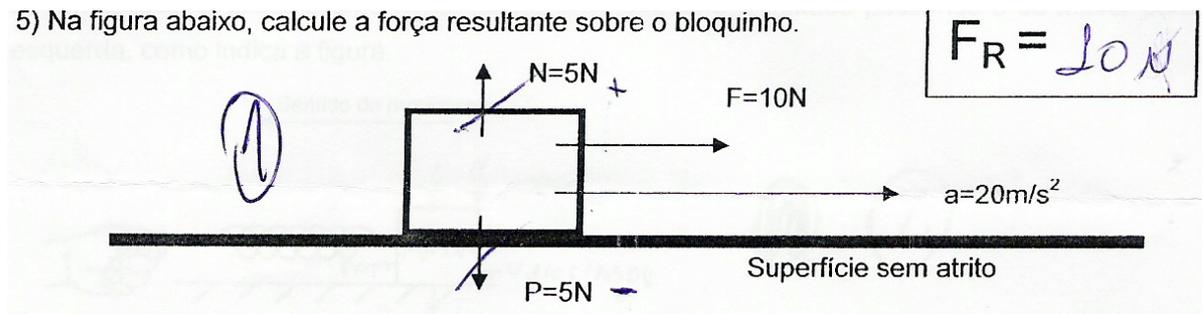
⁴¹ A forma tradicional como nos referimos à segunda lei de Newton: $F\vec{r} = m\cdot\vec{a}$

uma aparente utilização errada da 2ª Lei, ou simplesmente uma multiplicação aleatória de valores. Esta questão obteve cinco padrões de resposta.

Classificação das respostas à questão 5:

1- Respondeu corretamente.

5) Na figura abaixo, calcule a força resultante sobre o bloquinho.



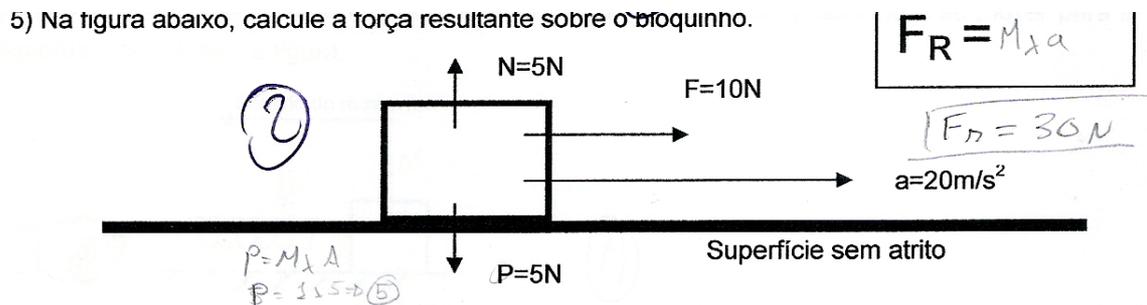
Aluno(a) 73

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- indicação do valor correto da força resultante;
- indicação de que tinha ciência da equilibração entre as forças peso e normal.

2 – Somou o valor da força com o da aceleração.

5) Na figura abaixo, calcule a força resultante sobre o bloquinho.



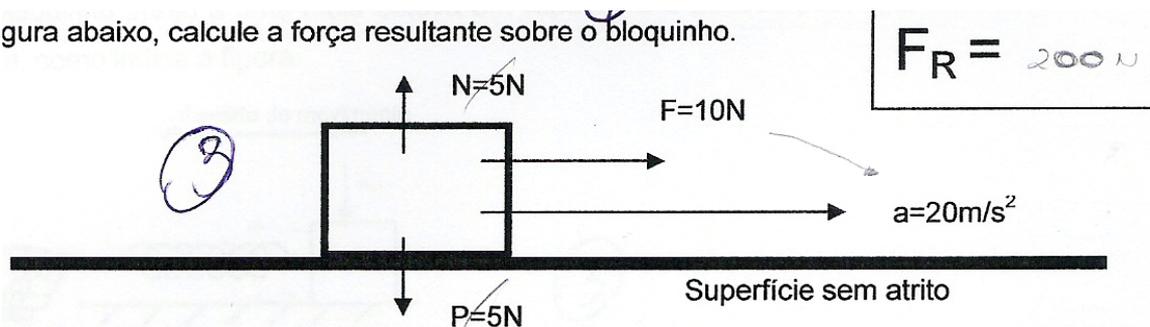
Aluno(a) 40

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- indicação do valor da força resultante como resultado numérico igual à soma dos valores numéricos de F e a .

3 – Multiplicou o valor da força com o da aceleração.

Na figura abaixo, calcule a força resultante sobre o bloquinho.



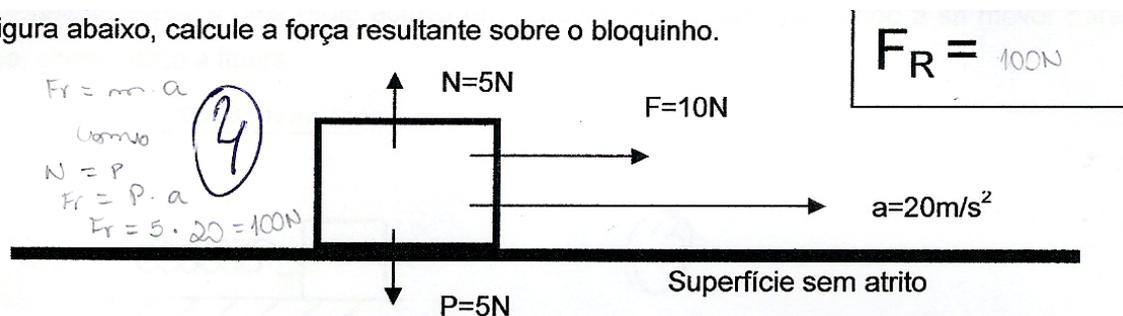
Aluno(a) 153

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- indicação do valor da força resultante como resultado numérico igual à multiplicação dos valores numéricos de F e a .

4 – Alguma outra justificativa errada/ não respondeu.

5) Na figura abaixo, calcule a força resultante sobre o bloquinho.



Aluno(a) 74

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- cálculo da força resultante por " $F_r = p \cdot a$ "

5 – Respondeu corretamente, mas descobrindo a massa e usando a 2ª Lei de Newton.

5) Na figura abaixo, calcule a força resultante sobre o bloquinho.

$P = 50N$
 $F = m \cdot a$
 $F = 0,5 \cdot 20$
 $F = 10N$

$F = m \cdot a$
 $10 = m \cdot 20$
 $m = 0,5$

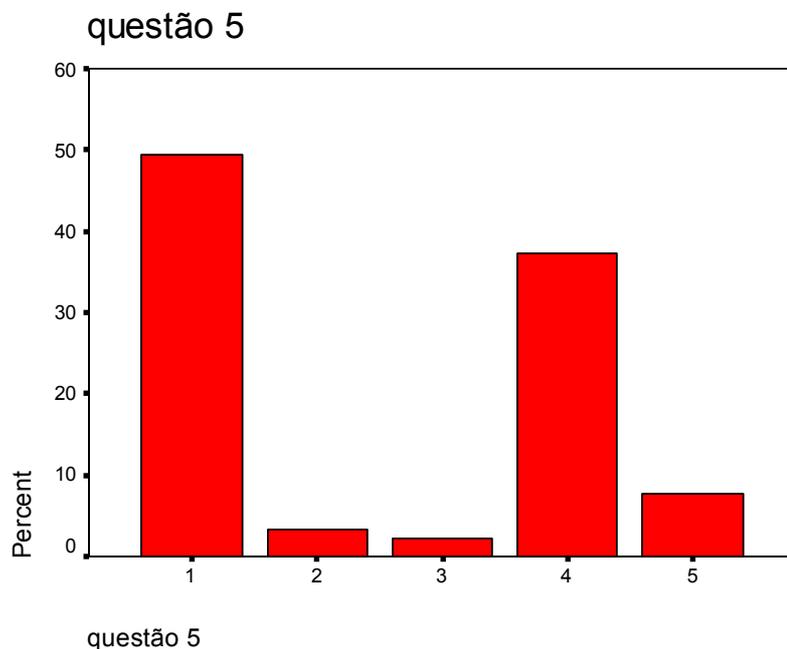
$F_R = 10N$

Superfície sem atrito

Aluno(a) 78

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- não demonstra qualquer soma vetorial para chegar ao resultado;
- indica a utilização correta da 2ª Lei de Newton para chegar ao resultado, encontrando primeiro a massa do corpo.

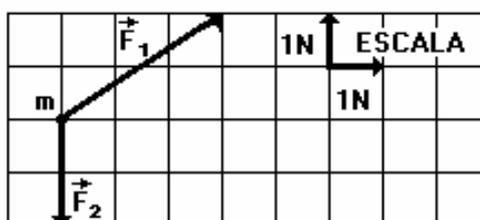


Histograma 9: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentadas na questão 5 do questionário

A sexta questão mostra o fraco desempenho dos alunos em questões que envolvem soma vetoriais.

Questão 6:

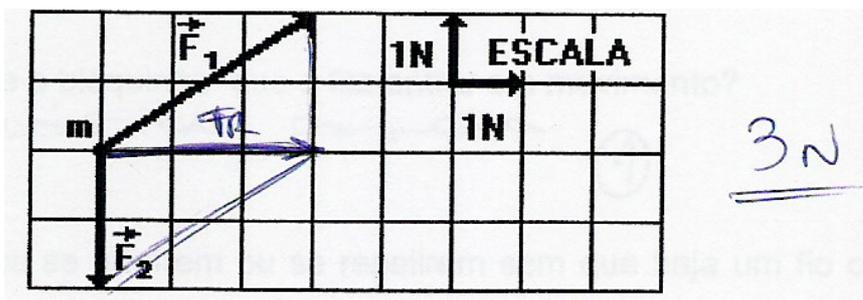
Na situação abaixo, vê-se uma partícula de massa m submetida à ação de duas forças. Represente, na própria figura, a força resultante (soma das duas forças) sobre esta partícula e expresse seu valor.



É bom lembrar que soma vetorial é antes de tudo um domínio da matemática, mais especificamente, domínio da geometria de polígonos [paralelogramos] e é um elemento crucial do campo conceitual de campo de forças. A maioria dos alunos não sabe somar dois vetores e não sabem identificar e ler uma escala. Na verdade, esta é apenas mais uma deficiência no campo da matemática que interfere diretamente no aprendizado conceitos físicos. Classificamos em cinco os tipos de resposta da sexta questão:

Classificação das respostas à questão 6:

1 – Utiliza corretamente a soma de vetores pela regra do paralelogramo.

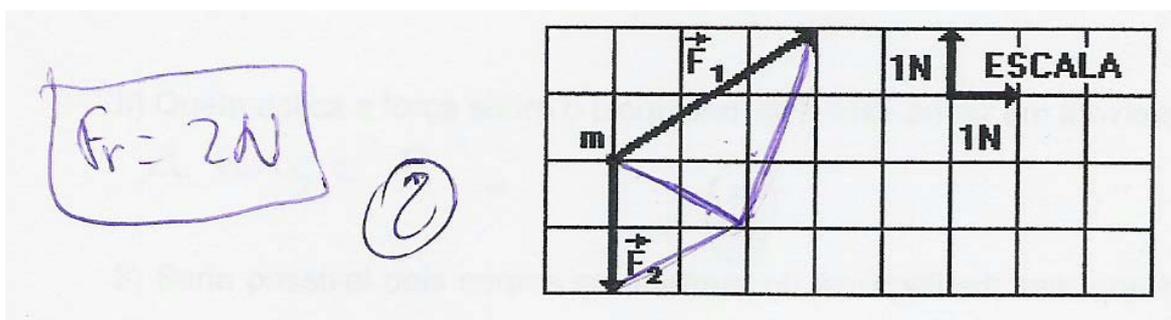


Aluno(a) 48

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- traçou segmentos a partir da extremidade de cada um dos vetores paralelamente ao outro vetor;
- traçou o vetor soma com sua origem coincidindo com a origem dos vetores somados e sua extremidade coincidindo com o encontro dos dois segmentos traçados anteriormente;
- indicou seu valor corretamente.

2 – Tentativa de utilizar a regra do paralelogramo sem sucesso.



Aluno(a) 36

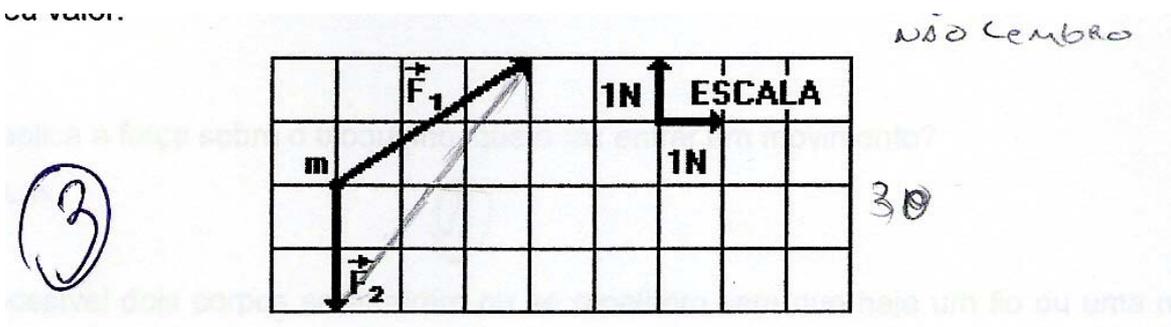
Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- não traçou os segmentos paralelamente aos vetores somados.

Comentário: Este tipo de erro é muito comum. Parece-nos que o(a) aluno(a) desconhece o paralelismo exigido entre os vetores e os segmentos traçados a partir das extremidades dos vetores. Esta parece ser a única correção a ser feita para este padrão de resposta.

3 – Utiliza a regra do polígono de forma errada (ligando as extremidades dos vetores).

ou vetor.



Aluno(a) 14

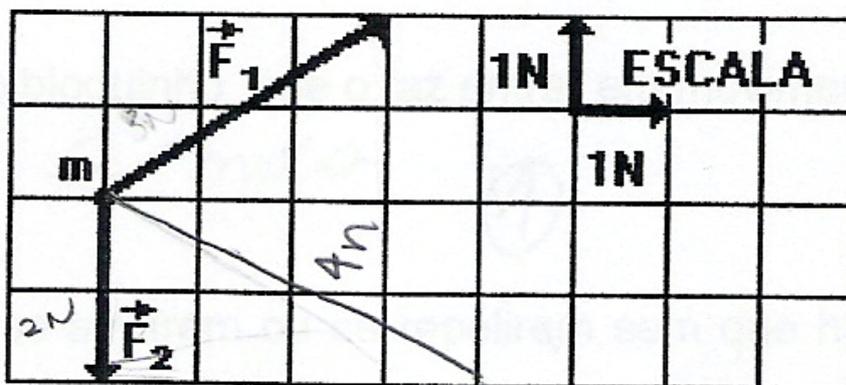
Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- traçou um segmento ligando as extremidades dos dois vetores somados.

Comentário: Este tipo de erro parece ser o mais grave dentre os mostrados até aqui. Com esta representação, o(a) aluno(a) demonstra negligenciar os sentidos das forças e consequentemente para onde deveria se mover o objeto.

4 – Algum outro procedimento errado de soma vetorial/ não respondeu.

4



Aluno(a) 42

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

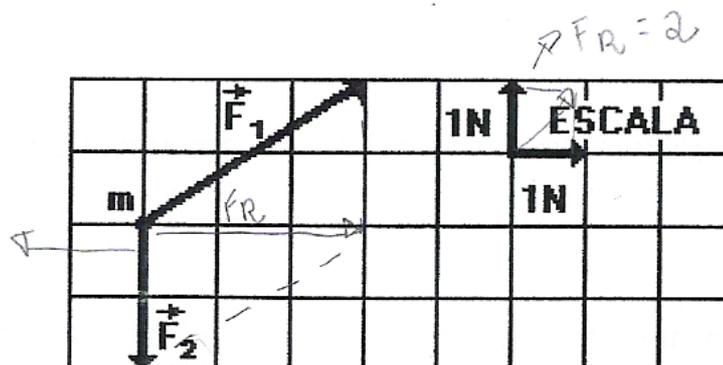
- Não traça os segmentos paralelos aos vetores somados;
- traça o vetor soma aparentemente de forma aleatória.

5 – representa a força resultante no lugar correto, mas não indicou seu módulo.

expresse seu valor.

FR = $a^2 + b^2 + a \cdot b \cdot \cos \theta$

5

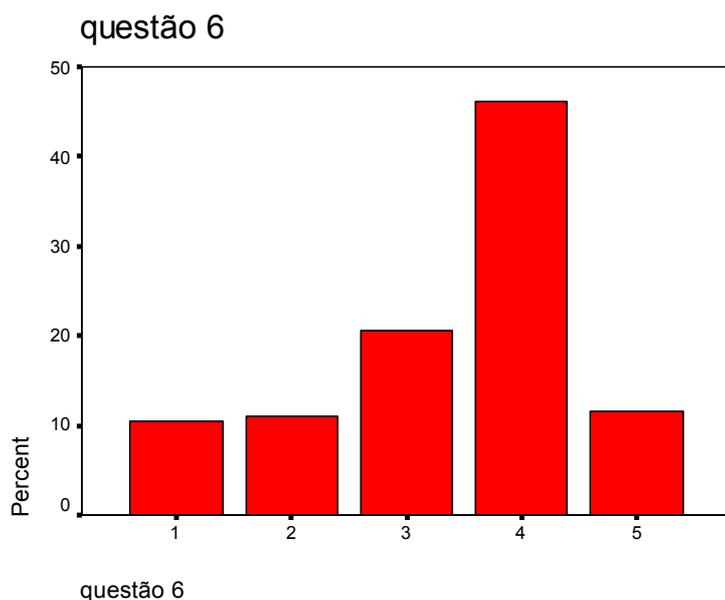


Aluno(a) 47

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- traçou segmentos a partir da extremidade de cada um dos vetores paralelamente ao outro vetor;
- traçou o vetor soma com sua origem coincidindo com a origem dos vetores somados e sua extremidade coincidindo com o encontro dos dois segmentos traçados anteriormente;
- não indicou o valor do vetor soma.

Comentário: notemos que ao alto da figura, no seu lado direito, existe a representação do valor da escala. Vemos que o(a) aluno(a) “somou” vetorialmente estes segmentos orientados, o que nos indica o desconhecimento do que é uma escala e como consequência, não indicou o valor do vetor força resultante, mesmo tendo-o representado corretamente.



Histograma 10: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentadas na questão 6 do questionário

Capítulo 4

Resultados

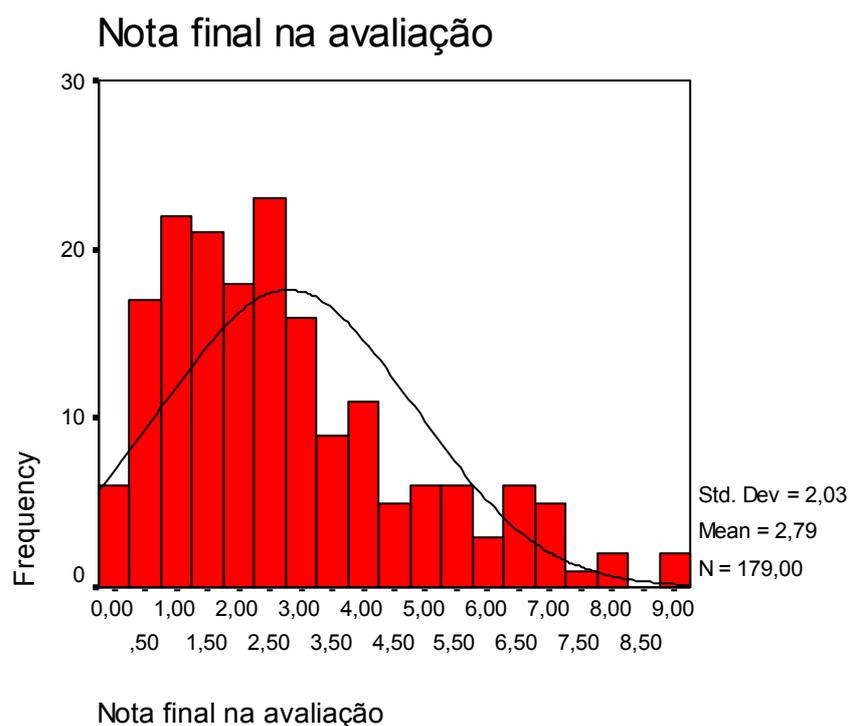
4.1 Respostas e comentários das questões da avaliação

Vamos a seguir fazer alguns comentários sobre as respostas às questões da avaliação sobre campo de forças, com ênfase em campo elétrico. Comentaremos os padrões de respostas encontrados na avaliação e pesquisaremos se há relações entre estes padrões de respostas com o domínio dos precursores conceituais contidos nas questões apresentadas no questionário.

Iniciamos com alguns comentários referentes ao gênero dos participantes. A amostra inicial que nós tínhamos apresentavam 197 sujeitos, dos quais 43,3% eram meninos e 56,7% meninas. Lembremos que após a avaliação este número diminuiu para 142 sujeitos devido a alguns alunos terem faltado no dia da avaliação ou por termos identificado que não houve interesse em resolver a avaliação com determinação mínima aceita por nós, que correspondia a 50% do total de questões da avaliação. Destes 142 sujeitos que restaram 41,5% eram meninos e 58,5%, meninas. Apenas 5,6% dos alunos obtiveram notas maiores ou iguais a sete (media mínima de aprovação na unidade nesta escola) na avaliação final, sendo 75% deles meninas e 25% meninos. Este resultado mostra que as meninas se prepararam mais para a avaliação, como também se mostraram mais solícitas em participar da pesquisa.

O histograma 11 abaixo mostra o resultado geral de notas de todos os alunos na avaliação (APÊNDICE G). Aos diferentes tipos de respostas foi associada uma pontuação compreendida entre 0,0 e 1,0 que poderia resultar uma nota máxima igual a 10,0. No final

dos comentários sobre cada questão há uma tabela onde se distribuem os pontos atribuídos segundo o tipo de resposta dada. O baixo nível de acertos já era esperado por nós, com apenas 21% destes alunos obtendo notas maiores ou iguais a 5,0⁴². Uma avaliação como esta, que envolve o conceito de campo de forças, normalmente, tradicionalmente, independente de quem seja o professor, apresenta notas baixas, com muitos erros conceituais e de operação matemática. Acreditamos que a falta de domínio matemático que envolvem operações com frações e potências de dez além do conceito de campo ser naturalmente de difícil compreensão são os principais responsáveis por esse baixo rendimento.



Histograma 11: Notas finais dos alunos na avaliação final.

A **primeira questão** da avaliação foi composta por três sub-itens: o primeiro sub-item propunha ao aluno uma escala de cinco itens para auto-avaliação de desempenho em

⁴² Acreditamos que os alunos que se encontram neste grupo, com notas iguais ou superiores a cinco, conseguiram atingir um nível de conceptualização bom em campo de forças.

matemática, seguido de questão acerca do número aproximado de faltas do aluno às aulas de física elétrica, e finalmente uma avaliação, via nota de zero a dez, para a dedicação e preparação para a avaliação. Descrevemos abaixo as características dos alunos com notas maiores ou iguais a cinco e dos alunos com notas inferiores a cinco na referida avaliação final com relação ao gênero, auto-conceito em física, auto-conceito em matemática, auto-conceito em preparação para a avaliação e assiduidade.

Questão 1:

a) Como você avalia suas notas em matemática?



b) Nas últimas duas semanas, quantas aulas de física elétrica você faltou (aproximadamente)?

c) Que nota, de zero a dez, você se daria em dedicação e preparação para essa avaliação?

Os alunos com notas **superiores ou iguais a cinco** tinham o seguinte perfil:

- 66,7% eram meninas
- 73,3% se julgavam entre regulares e bons em física
- Absolutamente todos se julgavam entre regulares e ruins em matemática, sendo apenas 20% se julgando regulares.
- 80% destes alunos são assíduos e não faltaram nenhum dia de aulas e nenhum deles faltou mais de duas aulas.
- 63,3% se auto atribuíram notas maiores ou iguais a sete de preparação para a avaliação.

Os alunos com notas **inferiores a cinco** tinham o seguinte perfil:

- 56,3% eram meninas.
- 53,6% se julgaram entre regulares e bons em física.
- 99% se julgaram entre regulares e ruins em matemática.
- 40,5% faltaram pelo menos um dia de aula.
- 20,5% se auto atribuíram notas maiores ou iguais a sete de preparação para a avaliação.

Comentário sobre os resultados estatísticos da questão 1: Nenhum dos valores encontrados acima permitiram estabelecer diferenciação estatisticamente significativa entre os dois sub-grupos de sujeitos considerados. Mas de uma forma geral, notamos que as meninas demonstraram melhor desempenho que os meninos e que, independentemente do resultado nas avaliações, a maioria dos alunos se julgaram entre *regulares e bons* em física, enquanto que praticamente todos os alunos, independentemente das notas, se julgaram entre regulares e ruins em matemática. A combinação de assiduidade e dedicação, como já era esperado, relacionou-se a maiores notas na avaliação final.

Estes resultados nos deram um panorama sobre o que pensam os alunos que participaram da pesquisa.

A partir da segunda questão da avaliação final, precedemos da seguinte maneira:

1º) Procuramos identificar padrões de repostas dos alunos, que iam desde a resposta formalmente correta até a respostas muito distantes da resposta correta.

2º) Para fins de testes estatísticos, ao final dos comentários sobre cada questão, classificamos esses padrões de respostas como corretos (C), intermediários⁴³ (I) e errados (E).

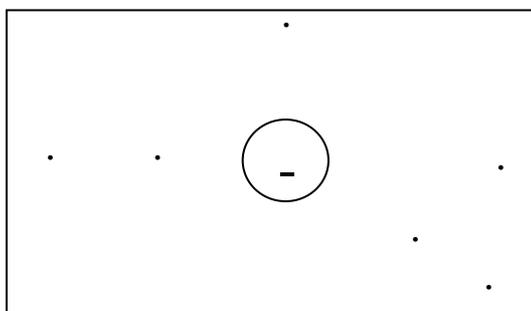
3º) Realizamos o teste Qui-quadrado cruzando as respostas do tipo “C”, “I” e “E” de cada questão da avaliação, citadas acima, com as respostas de todas as questões do questionário. Por exemplo, através do teste qui-quadrado, cruzamos os padrões de respostas encontradas na *segunda questão* da avaliação com os padrões de respostas de *todas as questões do questionário*, procurando encontrar alguma relação significativa entre estes padrões de respostas. Depois, repetimos este procedimento com todas as questões da avaliação.

4º) Relacionamos os *conceitos envolvidos* em cada questão da avaliação, discriminados na TABELA 2 (Pág.53) , com os *precursores conceituais* envolvidos em cada questão do questionário, discriminados na TABELA 1.1 (Pág.50).

A **segunda questão** da avaliação teve um índice de respostas corretas da ordem de 60%.

Questão 2:

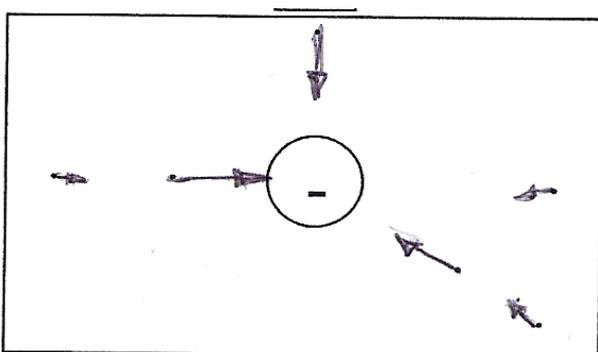
Ao lado vemos uma partícula eletrizada negativamente e isolada de qualquer outra carga elétrica. Represente o vetor campo elétrico gerado por esta carga em **cada um dos pontos** indicados baixo.



⁴³ Julgamos como intermediários os padrões de respostas bem próximos a resposta cientificamente corretos, que poderão ser constatados pelo leitor através dos exemplos de respostas dadas pelos alunos mostrados mais à frente.

A maioria dos alunos conseguiu representar os vetores campos elétricos com módulo direção e sentido coerentes, ou seja, direção radial, sentido apontando para a carga (já que a carga geradora era negativa) e com o módulo decrescente com a distância. Encontramos seis padrões de respostas para essa questão:

1 – respondeu corretamente.

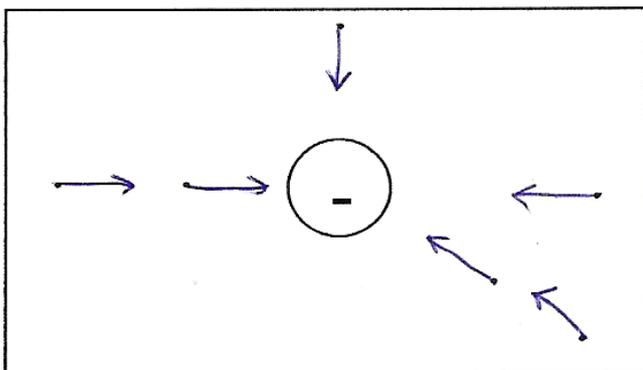


Aluno(a): 135

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- Todos os vetores com direção radial, diminuindo de intensidade com o aumento da distância à carga.

2 – Representa direção e sentido corretamente, mas não leva em conta a relação do módulo do vetor com a distância do ponto à carga geradora.



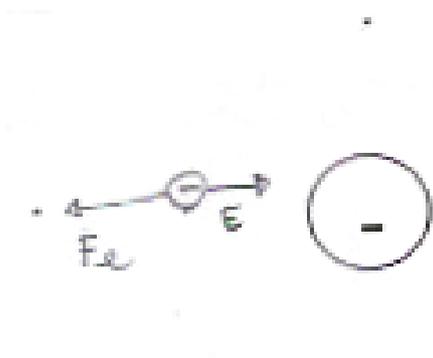
Aluno(a) 197

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- Direção dos vetores corretas, mas todos apresentam mesma intensidade.

Comentário: Este tipo de representação pode ser interpretado como a falta de relação entre a intensidade do campo e a intensidade da força aplicada sobre um corpo ali colocado.

3 – Sente a ausência de cargas elétricas [cargas de prova] nos locais indicados pelos pontos. E quando representava essas cargas, indica a força elétrica e o vetor campo elétrico nos pontos indicados.

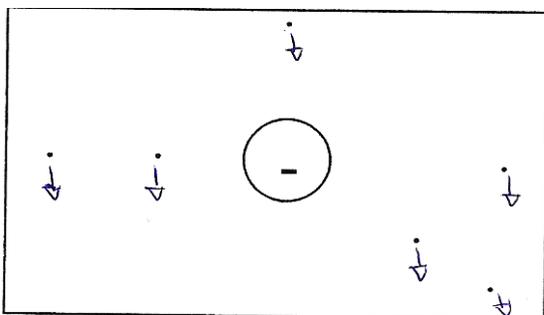


Aluno(a): 57

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- desenho de uma outra carga próxima à carga geradora

4 – Representa os vetores apontando para baixo, como se fosse o gravitacional apontando para um chão imaginário⁴⁴.



Aluno(a): 110

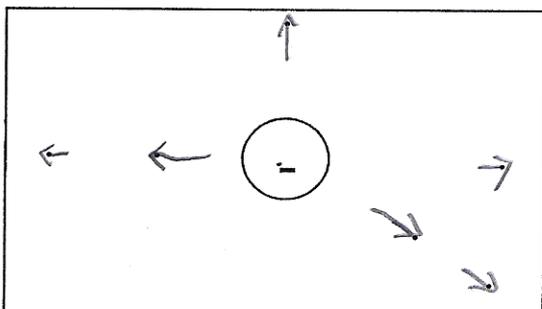
⁴⁴ Esta representação só aparece uma vez, com o(a) aluno(a) N° 110. Este tipo de representação foi identificado em alunos entre 8 e 9 anos, num trabalho de Nardi (1991), sobre desenvolvimento do conceito de campo com estudantes de 6 a 17 anos de idade, quando lhes pediu para representar, através de um desenho, o campo gravitacional terrestre.

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- todos os vetores campo elétrico apontam para um suposto chão, lembrando a representação do campo gravitacional próximo à superfície terrestre.

Comentário: Acreditamos que, nesta representação, o aluno cria um chão imaginário abaixo da figura mostrada. Além disso, os pontos geométricos que ali estão apenas para localizar onde devem ser representados os vetores, parecem ser compreendidos como pontos materiais, ou partículas.

5 – Representa os vetores como se fosse uma carga elétrica positiva.

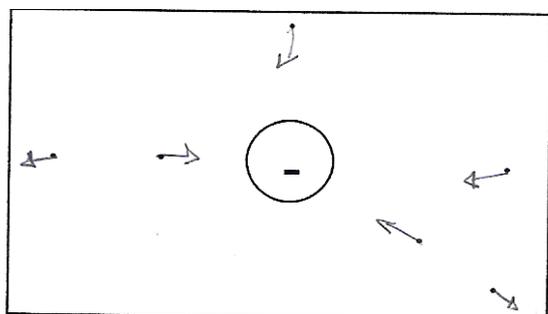


Aluno(a): 36

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- todos os vetores com direção radial e sentido para fora.

6 – Representa os vetores com sentidos aleatórios.



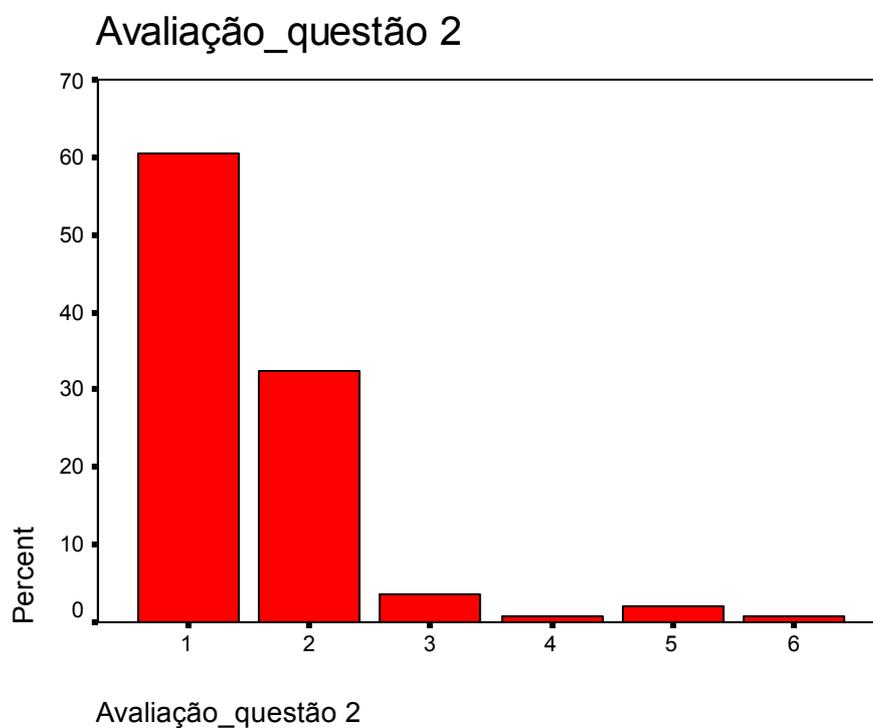
Aluno(a): 94

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- Vetores com direções radiais, mas sentidos aleatórios.

Distribuição de pontos da questão 2⁴⁵:

Categorias de resposta	Avaliação da resposta	Pontuação atribuída
0	deixou em branco	0,0
1	Correta	1,0
2 e 5	Intermediária	0,5
3, 4 e 6	Incorreta	0,0



Histograma 12: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentados na questão 2.

Comentário sobre os resultados estatísticos da questão 2 da avaliação:

O teste qui-quadrado foi aplicado cruzando os tipos de respostas encontradas na **questão 2 da avaliação**, cuja distribuição de frequências está mostrado no histograma acima, com os tipos de respostas de todas as questões do questionário. Para que tenhamos

⁴⁵ Todas as questões deixadas em branco tiveram categoria de resposta 0.

um resultado significativo, é preciso encontrar nestes cruzamentos um $p^{46} < 0,05$ o que não aconteceu em nenhum caso. Desta forma, não pudemos [através desta questão] relacionar significativamente os *conceitos envolvidos* na questão 2 da avaliação, quais sejam, os conceitos **d** (*Existem diferentes fontes de campos de força*), **e** (*O campo de forças é uma grandeza vetorial podendo ser representado por um vetor num de determinado ponto*) e **f** (*A presença de um campo de forças num determinado ponto não implica a existência de força neste ponto*)⁴⁷ com nenhum *precursor conceitual* das questões do questionário.

Diagramaticamente, temos:

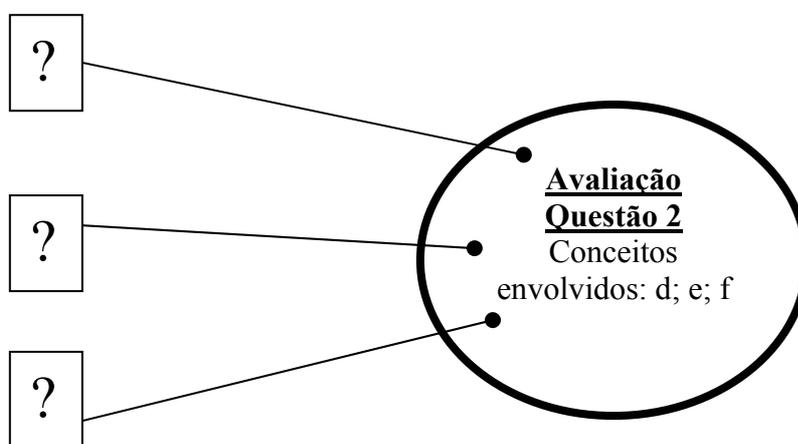


Diagrama 1: Relação entre precursores conceituais e os conceitos envolvidos na questão 2 da avaliação.

Nas verdade, este resultado não pode ser considerado como evidência definitiva da inexistência das relações acima sugeridas. Continuamos considerando tais relações pertinentes, para verificação em pesquisas futuras, porém no presente contexto os instrumentos utilizados não conseguiram evidenciar os precursores conceituais que são importantes para o aprendizado dos conceitos **d**; **e** ; **f** presentes no campo conceitual de campo de forças.

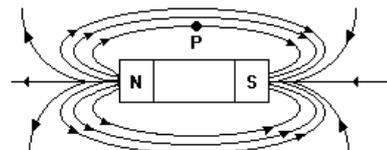
⁴⁶ Tal “p” refere-se classicamente à probabilidade de ocorrência da hipótese nula: para aqueles casos em que tal valor probabilístico é igual ou menor que 0,05 conclui-se que provavelmente a explicação do dado testado tem relação com outra hipótese, a hipótese experimental ou alternativa.

⁴⁷ A descrição detalhada de todos os conceitos encontra-se nas págs. 49 e 50)

A **terceira questão** mostrou que a grande maioria dos alunos (80,3%) assume a possibilidade de um campo magnético agindo sobre uma carga elétrica em repouso.

Questão 3:

Ao lado temos a representação de um ímã. Todos os ímãs possuem dois pólos magnéticos: um pólo norte e um pólo sul. Quando dois ímãs são aproximados, eles podem se atrair ou se repelir, pois dois pólos de mesmo nome se repelem e pólos de nomes diferentes, se atraem. Se uma **carga elétrica negativa** é abandonada do repouso no ponto **P**, o que acontece com ela? Descarte qualquer efeito gravitacional.



Uma carga elétrica em repouso dentro de um campo magnético não sofre ação de forças aplicadas por esse campo. Entretanto, poucos alunos (12,7%) responderam que a carga permaneceria em repouso, ou afirmou explicitamente que cargas elétricas não sofrem ação de campos magnéticos⁴⁸. Classificamos 3 padrões de respostas para essa questão:

1 – Respondeu corretamente.

“Nada. Ela permanece no mesmo lugar não é atraída nem repelida pelos pólos”

Aluno(a):2

2 – Identificou uma força aplicada sobre a carga, devido à presença do campo, ou por ter atribuído cargas positivas e negativas aos pólos dos ímãs.

“Ela vai atrair o pólo de carga negativa” Aluno(a): 7

Comentário: Esta resposta nos deixa claro que este(a) aluno(a) interpreta o ímã como sendo formado por pólos elétricos. Palavras como “campo eletromagnético” assim como as características de atração e repulsão encontradas tanto nos fenômenos elétricos como magnéticos devem contribuir para esta idéia.

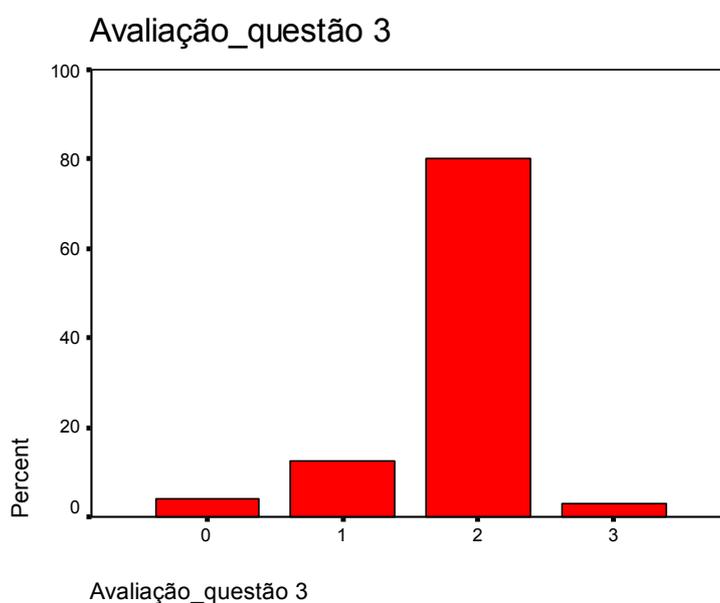
3 – Não entendeu de acordo com nossas expectativas.

“Fica em um campo magnético” Aluno(a): 23

⁴⁸ Na época em que resolveram as questões desta avaliação, os alunos ainda não haviam estudado o comportamento da força magnética sobre cargas elétricas em movimento.

Distribuição de pontos questão 3:

Categorias de resposta	Avaliação da resposta	Pontuação atribuída
0	deixou em branco	0,0
1	Correta	1,0
---	Intermediária	0,5
2 e 3	Incorreta	0,0



Histograma 13: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentados na questão 3.

Resultados estatísticos da questão 3 da avaliação: O teste qui-quadrado foi usado cruzando os tipos de respostas dos alunos na questão 3 da avaliação com todas as questões do questionário. O teste nos indicou relação significativa entre os conceitos envolvidos nesta questão com os precursores conceituais números 2 e 3 (discriminados e relacionados nas páginas 48 e 49), conforme mostra o diagrama a seguir:

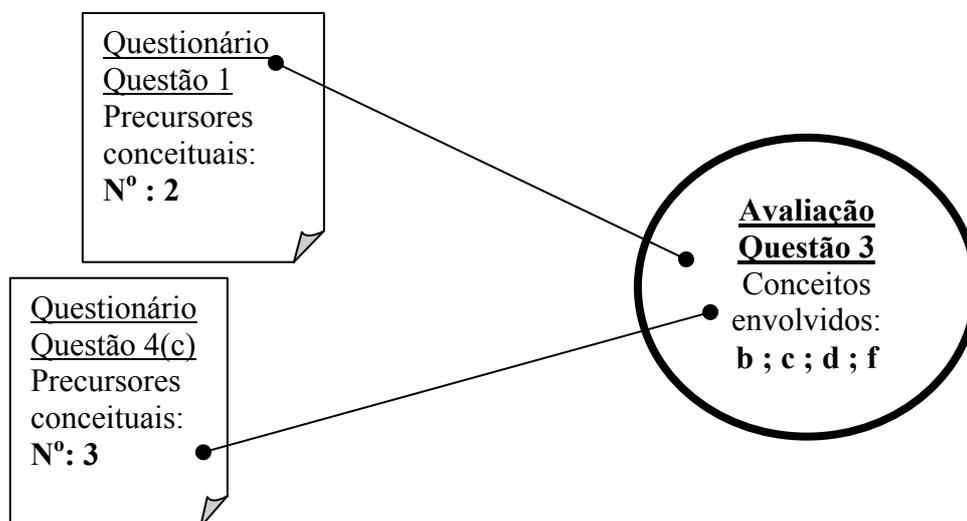


Diagrama 2: Relação entre precusores conceituais e os conceitos envolvidos na questão 3 da avaliação.

Isto indica que os alunos que se mostraram, através das respostas do questionário, dominar os precusores conceituais 2 (*grandezas escalares e vetoriais*) e 3 (*carga elétrica*) antes da instrução formal de campo de forças, obtiveram um percentual de acertos significativamente maior na questão 3 da avaliação, questão esta que envolve os conceitos *b* (*Força também como interação entre corpos à distância*), *c* (*Interação à distância só pode acontecer através de um ente fisico denominado campo de forças*), *d* (*Existem diferentes fontes de campos de força*) e *f* (*A presença de um campo de forças num determinado ponto não implica a existência de força neste ponto.*).

Detalhamento do tratamento estatístico realizado no cruzamento da questão 3 da avaliação com as questões do questionário.

Tabela cruzada 1: Relação entre os tipos de respostas dadas pelos alunos na questão 3 CIE da avaliação e os tipos de respostas dadas por estes mesmos alunos na questão 1 do questionário.

		Questionário_Desempenho na questão 1		Total
		Acerto	Erro	
Avaliação questão 3 CIE	Correto	12	6	18
	Errado	52	72	124
Total		64	78	142

O teste qui-quadrado, aplicado à distribuição de frequências nas células da tabela acima, mostrou tendência significativa de diferenciação entre os efetivos das referidas células ($\chi^2= 3,883$, 1 g.l., $p=0,049$), o que indica ter havido uma relação significativa entre as categorias das variáveis cruzadas na tabela.

Podemos observar, a partir deste resultado, que há uma tendência significativa dos alunos que resolvem incorretamente a questão 1 do questionário também resolverem incorretamente a questão 3 da avaliação. Da mesma forma, observamos que alunos que respondem corretamente a questão 1 do questionário tendem significativamente a acertarem a questão 3 da avaliação.

Para chegarmos a tal conclusão, observamos que mesmo os alunos que acertaram a questão 1 do questionário também apresentaram um número expressivo de respostas erradas na questão 3 da avaliação. Entretanto, este quantitativo [52] não foi significativo dentre o universo de respostas encontradas neste cruzamento. O mesmo podemos dizer

com relação às respostas corretas encontradas na questão 3 da avaliação, pois o número de respostas corretas [12] de um total de 64 que responderam corretamente a questão 1 do questionário mostrou-se bem mais significativa que o número de respostas corretas [6] apresentadas pelos alunos que responderam incorretamente a questão 1 do questionário.

Tabela cruzada 2: Relação entre os tipos de respostas dadas pelos alunos na questão 3 CIE da avaliação e os tipos de respostas dadas por estes mesmos alunos na questão 4(c) do questionário.

		Questionário_Desempenho na questão 4c			Total
		Acerto	Erro	Não fez	
Avaliação questão 3 CIE	Correto	9	3	6	18
	Errado	25	27	72	124
Total		34	30	78	142

O teste qui-quadrado, aplicado à distribuição de frequências nas células da tabela acima, mostrou tendência significativa de diferenciação entre os efetivos das referidas células ($\chi^2= 7,789$, 2 g.l., $p=0,020$), o que indica ter havido uma relação significativa entre as categorias das variáveis cruzadas na tabela.

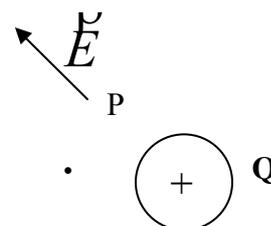
Notemos, no cruzamento da tabela acima, que há uma maior tendência de erro na questão 3 da avaliação os alunos que erraram ou não resolveram a questão 4c do questionário. Além disso, também encontramos uma tendência maior de se acertar a questão 3 da avaliação, os alunos que acertaram a questão 4c do questionário.

Acreditávamos que **letra (a) da quarta questão** apresentava um nível de dificuldade baixo para os sujeitos.

Questão 4:

Num ponto P situado a 30cm de uma carga elétrica pontual existe um campo elétrico de intensidade $2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$, representado pelo vetor da figura ao lado. ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$)

a) Qual a intensidade da força elétrica que atuaria sobre uma carga de prova q de $3 \mu\text{C}$ colocada naquele ponto?



b) A presença da carga de prova em P interfere no valor do campo gerado pela carga Q em P?

c) Com a carga de prova em P, a carga geradora Q fica submetida à ação de alguma força? Se sim, de que intensidade?

Porém, conforme apontado pelos dados, houve muitos resultados errados (51,4%). A letra (a) pedia o valor da força elétrica, que poderia ser encontrada diretamente por $F_e = q \cdot E$. Em vez disso, foi comum a tentativa de se utilizar a lei de Coulomb, atribuindo o valor do campo ao valor da carga geradora.

Os alunos que escolheram a equação correta a ser usada, normalmente chegavam ao resultado cientificamente correto e o índice de acertos foi alto, porém nem todos que escolheram a equação correta conseguiram chegar à resposta por substituir valores de forma errada ou simplesmente por não concluir a questão. Essa questão mostrou-se com 4 de padrões de resposta.

1 – Respondeu corretamente.

$$E = 2 \cdot 10^5$$

$$F_e = q \cdot e$$

$$F_u = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5$$

$$F_u = 6 \cdot 10^{-1} \rightarrow 0,6 \text{ N}$$

Aluno(a):130

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- utilizou a equação correta, substituiu os valores corretos e chegou à resposta numérica correta.

2 – Aplica corretamente a equação, mas não chega ao resultado numérico correto.

$$F_e = q \cdot E$$

$$F_e = 3 \cdot 2 \cdot 10^5$$

$$F_e = 6 \cdot 10^5$$

Aluno(a):69

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- utilizou a equação correta, mas não a desenvolveu corretamente.

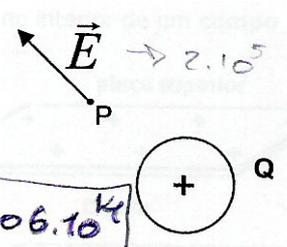
3 – Aplica a lei de Coulomb, normalmente atribuindo-se o valor do campo ao valor da carga geradora.

força elétrica que atuaria sobre uma : colocada naquele ponto?

$$F = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 3}{30^2}$$

$$\frac{18 \cdot 10^{14} \cdot 3}{30^2} = \frac{54 \cdot 10^{14}}{900} = 0,06 \cdot 10^{14}$$

e prova em P interfere no valor do campo gerado nela



Aluno(a):103

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- Utilizou a Lei de Coulomb substituindo valores inadequadamente.

4 – Outros erros ou atribui valor sem explicitar forma de obtenção.

$$F = \frac{k \cdot Q}{d^2} \quad F = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{30} = \frac{18 \cdot 10^{14}}{303} = \frac{6 \cdot 10^{14}}{10}$$

(4)

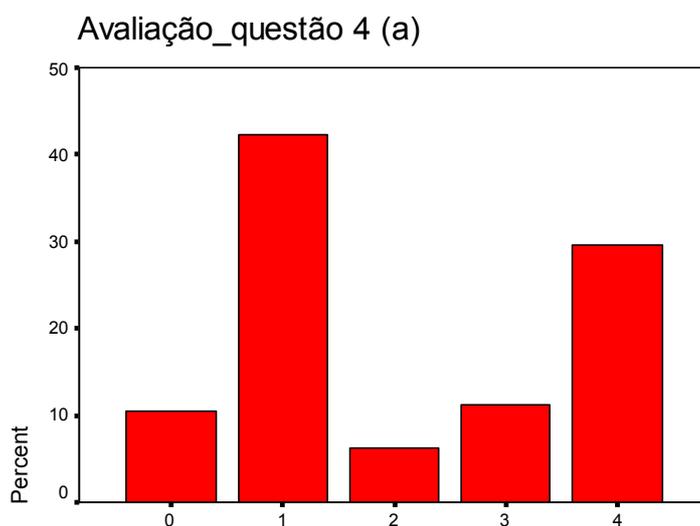
Aluno(a):94

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- utilizou uma equação errada para a força elétrica.

Distribuição de pontos da questão 4(a):

Categorias de resposta	Avaliação da resposta	Pontuação atribuída
0	deixou em branco	0,0
1	Correta	1,0
2	Intermediária	0,5
3 e 4	Incorreta	0,0



Avaliação_ questão 4 (a)

Histograma 14: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentados na questão 4(a)

Comentário sobre os resultados estatísticos da questão 4(a) da avaliação:

O teste qui-quadrado foi usado cruzando os tipos de respostas dos alunos na questão 4(a) da avaliação com todas as questões do questionário. Assim como aconteceu na questão 2 da avaliação, o teste não nos indicou relação significativa entre os conceitos envolvidos nesta questão com os precursores conceituais presentes nas questões do questionário. Ou seja, não conseguimos encontrar nenhuma relação significativa entre questões respondidas corretamente no questionário com as respostas corretas da questão 4(a) da avaliação, questão essa que envolve os conceitos *b* (*Força também como interação entre corpos à distância*), *c* (*Interação à distância só pode acontecer através de um ente físico denominado campo de forças*), *d* (*Existem diferentes fontes de campos de força*) e *h* (*O sentido da força elétrica exercida por um campo elétrico num determinado ponto depende do sinal da carga de prova ali colocada*). O diagrama abaixo ilustra esta falta de relação.

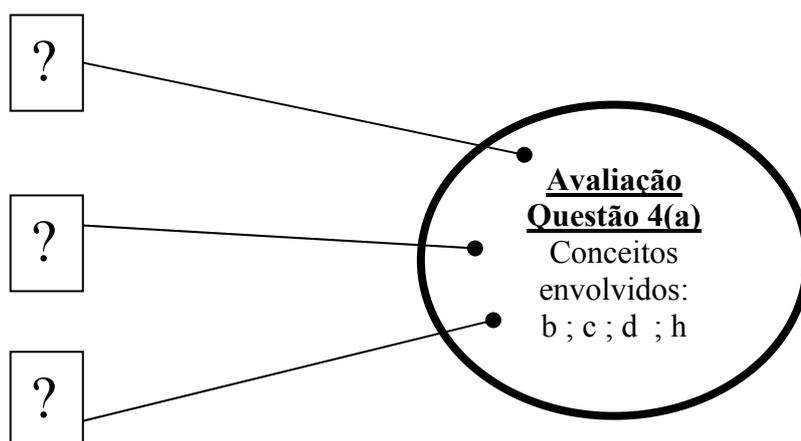


Diagrama 3: Relação entre precursores conceituais e os conceitos envolvidos na questão 4(a) da avaliação.

A **letra (b) da quarta questão** apresentou uma falha. Deveríamos ter pedido que o aluno justificasse sua resposta. A resposta correta para a letra (b) seria “*não, pois o módulo, a direção e o sentido do campo elétrico dependem exclusivamente da carga geradora*”. Infelizmente, foram poucos os alunos que justificaram desta forma. A maioria das respostas se limitou a “sim” ou “não”.

Algumas das respostas do tipo “sim” vinham com a justificativa de que a depender do sinal da carga [de prova] o sentido da força deveria mudar, ou seja, por ter respondido “sim”, concluímos que estes alunos acreditavam que o sinal da carga de prova interferia no sentido do campo por haver uma mudança no sentido da força. Desta forma, classificamos em 4 os tipos de respostas.

1 – Respondeu “não”, sem justificar.

2 – Respondeu “sim”, sem justificar.

3 – Não oferece nenhuma resposta condizente com o enunciado / deu uma justificativa errada.

“*Não, porque o campo elétrico é o mesmo entre os dois*” Aluno (a): 11

4 – respondeu “não” e justificou corretamente.

“*Não. Porque existindo ou não uma carga, no ponto p haverá campo elétrico e seu valor*

$$E = \frac{k \cdot Q}{d^2} \text{ só depende da carga geradora e da distância.}”$$

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- mostrou-se ciente da dependência do campo elétrico única e exclusivamente da carga geradora.

5 – Respondeu “sim” justificando que o sinal da carga interferia no sentido da força.

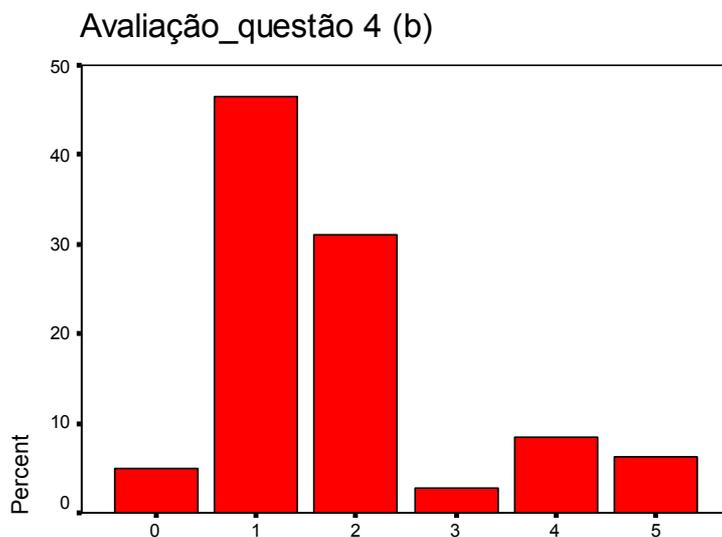
“*Sim. A carga sendo negativa a força elétrica é contrária ao campo e sendo positiva a força elétrica vai ser na mesma posição*” Aluno(a): 20

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- acredita que o sentido do campo elétrico no ponto p depende do sentido da força aplicada na carga de prova.

Distribuição de pontos da questão 4(b):

Categorias de resposta	Avaliação da resposta	Pontuação atribuída
0	deixou em branco	0,0
4	Correta	1,0
1	Intermediária	0,5
2,3 e 5	Incorreta	0,0



Avaliação_ questão 4 (b)

Histograma 15: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentados na questão 4(b).

Resultados estatísticos da questão 4(b) da avaliação:

Dentre todas as questões do questionário, o teste qui-quadrado nos indicou relação significativa entre os conceitos envolvidos na questão 4(b) da avaliação com o precursor conceitual 3, conforme mostra o diagrama abaixo.

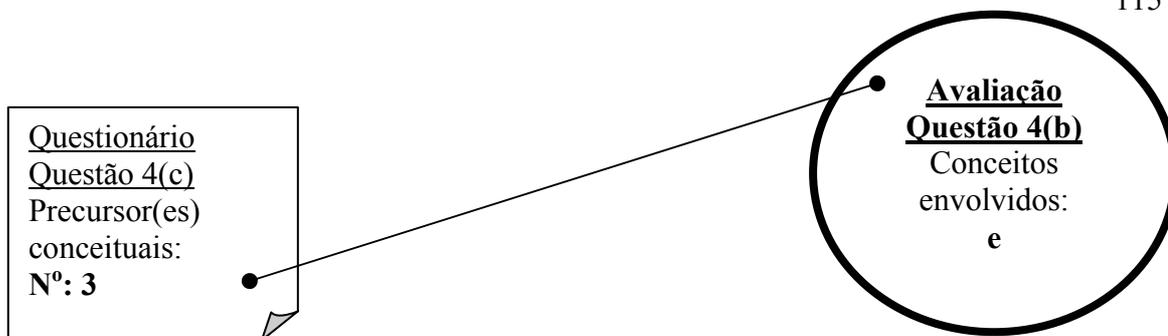


Diagrama 4: Relação entre precusores conceituais e os conceitos envolvidos na questão 4(b) da avaliação.

Este resultado nos indica que, após a instrução formal de campo de forças, o domínio do conceito e (*O campo de forças é uma grandeza vetorial podendo ser representado por um vetor num de determinado ponto*), conceito este presente na questão 4(b) da avaliação apresenta uma relação significativa com o domínio prévio da precursor conceitual número 3 (*Carga elétrica*). Ou seja, alunos que compreendiam previamente o conceito de carga elétrica obtiveram um percentual de acertos significativamente maior na questão 4(b) da avaliação. Tal questão exigia do aluno a compreensão de que o campo é uma grandeza vetorial e deve ser representado num ponto qualquer por um vetor de direção radial com a carga no centro desta circunferência.

Detalhamento do tratamento estatístico no cruzamento da questão 4(b) da avaliação com as questões do questionário.

Tabela cruzada 3: Relação entre os tipos de respostas dadas pelos alunos na questão 4(b) CIE da avaliação e os tipos de respostas dadas por estes mesmos alunos na questão 4(c) do questionário.

		Questionário_Desempenho na questão 4c			Total
		Acerto	Erro	Não fez	
Avaliação questão 4 (b)	Correto	7	2	3	12

CIE	Intermediário	15	11	40	66
	Errado	12	17	35	64
Total		34	30	78	142

O teste qui-quadrado, aplicado à distribuição de frequências nas células da tabela acima, mostrou tendência significativa de diferenciação entre os efetivos das referidas células ($\chi^2 = 10,663$, 4 g.l., $p=0,031$), o que indica ter havido uma relação significativa entre as categorias das variáveis cruzadas na tabela.

Mais uma vez, conforme indica a tabela, o número de acertos na questão 4(b) da avaliação de alunos que responderam também corretamente a questão 4(c) do questionário é significativamente maior que aqueles que responderam incorretamente ou não fizeram a questão 4(c) do questionário. Além disto, estes mesmos alunos que apresentaram um mal desempenho inicial na questão 4(c) do questionário também apresentam um resultado significativamente bem maior de respostas incorretas na questão 4(b) da avaliação.

A **letra (c) da quarta questão** procurava saber se o aluno conseguia aplicar a terceira lei de Newton (Ação e reação) de maneira correta numa situação de força aplicada à distância. Desta forma, a resposta correta seria algo como “*sim, uma força de mesmo valor da força aplicada sobre q*”. O valor desta força foi calculado na letra (a) que era de 0,6N ou $6 \cdot 10^{-1} \text{N}$. Sendo assim, pensamos inicialmente em três níveis de repostas para essa questão, quais sejam, a resposta cientificamente correta, a resposta que reconhecia a existência de uma força, mas não reconhecia como uma força de reação aplicada sobre q e, por fim, a resposta que não reconhecia uma força aplicada sobre Q.

Percebemos que a maior parte dos alunos responderam a questão reconhecendo que existe uma força aplicada sobre a carga geradora, mas não reconhece que é do mesmo valor da força aplicada sobre a carga de prova. Um grupo procurou aplicar alguma fórmula

que resultava num valor diferente do encontrado na letra (a). Outro grupo respondeu dando uma justificativa errada, ou respondeu simplesmente “sim” sem nenhuma justificativa. Desta forma classificamos em 4 os tipos de respostas desta questão.

1 – Respondeu corretamente.

“Sim, $F_{el} = 6 \cdot 10^{-1} N$.” Aluno(a): 44

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- acreditamos que a resposta simples e direta com o mesmo valor encontrado na letra a indica que o aluno reconhece ser um par de ação e reação.

2 – Respondeu “sim”, mas não identificou ser um par de ação e reação, normalmente aplicando novamente a relação $F = q \cdot E$.

Handwritten student work for Aluno(a) 107:

Sim, a força elétrica
Se for 3µc.

$$F = q \cdot E$$

$$F = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5$$

$$F = 6 \cdot 10^{-1}$$

$$\boxed{F = 0,6 N}$$

Aluno(a) 107

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- ao calcular novamente a intensidade da força, o(a) aluno(a) não demonstra reconhecer um par de ação e reação.

3 – Respondeu “sim” justificando errado ou não justificou.

Handwritten student work for Aluno(a) 107:

Sim

$$E = R \frac{Q}{D^2} \Rightarrow E = \frac{10^8 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{10^{-1}}$$

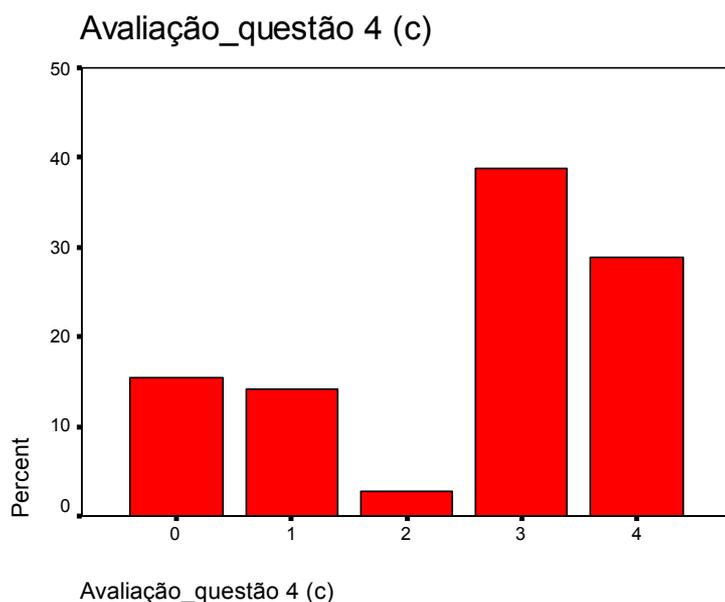
Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- utilizou uma equação errada para calcular a força elétrica e não mencionou o resultado encontrado na letra a.

4 – Respondeu “não” sob qualquer justificativa.

Distribuição de pontos da questão 4(c):

Categorias de resposta	Avaliação da resposta	Pontuação atribuída
0	deixou em branco	0,0
1	Correta	1,0
2 e 3	Intermediária	0,5
4	Incorreta	0,0



Histograma 16: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentados na questão 4(c).

Comentário sobre os resultados estatísticos da questão 4(c) da avaliação:

À exemplo das questões 2 e 4(a) da avaliação, o teste qui-quadrado cruzando as respostas encontradas na questão 4(c) da avaliação com todas as questões do questionário não indicou relações significativas. O conceito envolvido nesta questão era o conceito **h** (O

sentido da força elétrica exercida por um campo elétrico num determinado ponto depende do sinal da carga de prova ali colocada). Desta forma:

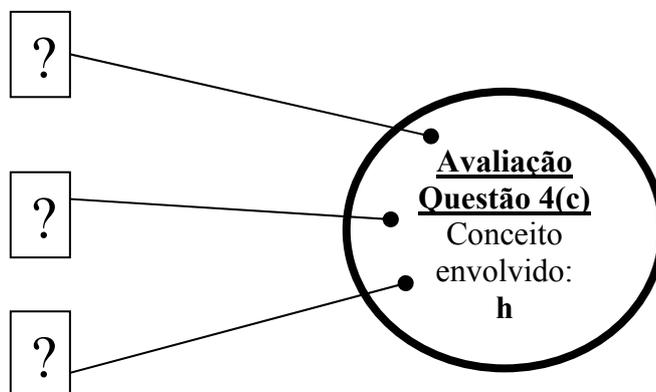


Diagrama 5: Relação entre precursores conceituais e os conceitos envolvidos na questão 4(c) da avaliação.

Gostaríamos de chamar a atenção sobre a importância do conceito **h** (*O sentido da força elétrica exercida por um campo elétrico num determinado ponto depende do sinal da carga de prova ali colocada*) presente nesta quarta questão (c). Este conceito trata do sentido do vetor força aplicada sobre uma carga de prova elétrica colocada no interior de um campo elétrico, como resultado da combinação simultânea do sentido do vetor campo elétrico no local onde se encontra esta carga com o sinal da carga. Por isso, consideramos este conceito muito importante no domínio do campo conceitual de campo de forças.

No cruzamento entre as respostas da questão 4 (c) da avaliação com as questões do questionário, encontramos um resultado não significativo que merece comentário, segundo a tabela abaixo.

Tabela Cruzada 4: Relação entre os tipos de respostas dadas pelos alunos na questão 4(c) CIE da avaliação e os tipos de respostas dadas por estes mesmos alunos na questão 2(a) do questionário.

		Questionário_ questão 2 (a)			Total
		acerto	erro	não fez	
avaliação q4cCIE	Correto	13	7		20
	Intermediário	23	35	1	59
Errado		22	37	4	63
Total		58	79	5	142

O teste qui-quadrado, aplicado à distribuição de frequências nas células da tabela acima, não mostrou *tendência* significativa de diferenciação entre os efetivos das referidas células ($\chi^2 = 7,926$, 4 g.l., **p=0,094**). Precisávamos de um $p \leq 0,05$ para que nosso resultado fosse significativo.

Mesmo não sendo rigorosamente significativo, achamos importante relacionar os precursores da questão 2(a) do questionário (1,2,4 e 6) com o conceito h da quarta questão (c) da avaliação.

A **quinta questão letras (a) e (b)** foram analisadas simultaneamente.

Questão 5:

Da mesma forma que a Terra, qualquer corpo que possua massa gera um campo gravitacional em torno de si. Sendo assim, uma partícula metálica de massa M e eletrizada com carga Q gera dois campos de força em torno de si: Um gravitacional e um elétrico. A figura abaixo mostra essa esfera com massa M eletrizada negativamente com carga $-Q$.

a) Represente no ponto P os campos gravitacional e elétrico gerados por essa esfera.



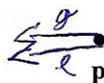
b) No ponto P é colocada uma outra esfera com massa m e carga também negativa $-q$. Represente (na figura abaixo) esta partícula e as forças de natureza elétrica e gravitacional atuando sobre ela.



Através dessas duas questões, nos interessava saber se o aluno conseguiria representar os vetores campo elétrico e campo gravitacional com suas respectivas forças (elétrica e gravitacional) de maneira independente. Ou seja, verificar se o aluno compreendia que um único corpo pode gerar dois campos independentes que aplicam forças independentes e que, além disso, se havia uma dependência do sentido da força com o sentido do campo. As letras (a) e (b) foram classificadas, portanto, em conjunto. Os padrões de resposta foram:

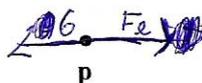
1 – Representou corretamente tanto os campos como as forças.

●
Massa M
Carga $-Q$



a uma outra esfera com massa m e carga também negativa $-q$. Represente a natureza elétrica e gravitacional atuando sobre ela.

●
Massa M
Carga $-Q$



Aluno(a):99

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- vetores campo elétrico e gravitacional apontando para o centro do corpo;
- força gravitacional apontando para o centro do corpo;
- força elétrica apontando em sentido contrário por serem cargas de mesmo sinal.

2 – Representou apenas os campos corretamente.

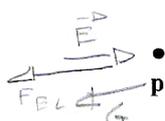
●
Massa M
Carga $-Q$



a uma outra esfera com massa m e carga também negativa $-q$. Re-
natureza elétrica e gravitacional atuando sobre ela.

●
Massa M
Carga $-Q$

2



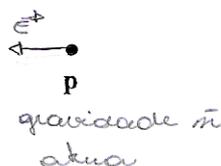
Aluno(a):100

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- campo representados corretamente
- força elétrica representada errado.

3 – Representou apenas as forças corretamente.

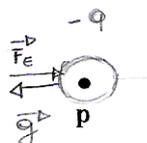
●
Massa M
Carga $-Q$



da uma outra esfera com massa m e carga também negativa $-q$. Represer
natureza elétrica e gravitacional atuando sobre ela.

●
Massa M
Carga $-Q$

3



Aluno(a): 130

Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- não representou o campo gravitacional corretamente.

4 – Não representou corretamente/ não compreendeu a questão.



é colocada uma outra esfera com massa m e carga também negativa $-q$. Represente forças de natureza elétrica e gravitacional atuando sobre ela.



Aluno(a): 131

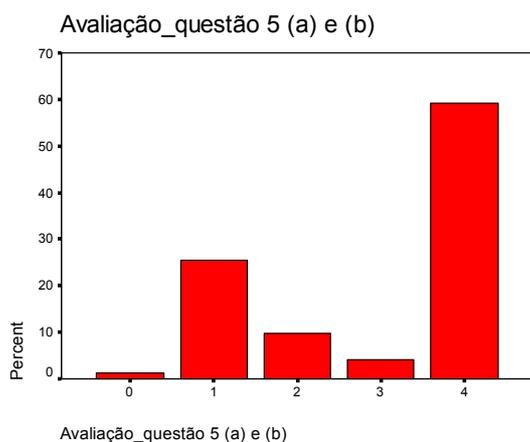
Aspectos do desenho que o atribuem esta classificação:

- representa o campo como se a carga geradora estivesse no ponto p

Comentário: Vemos como é comum o aluno tratar a representação do ponto geométrico (ponto p) como um ponto material. No desenho acima, mostra-se a representação dos vetores campo elétrico numa direção radial em relação ao ponto p, o que indica que o (a) aluno(a) compreendeu que aquele ponto estava gerando um campo de forças.

Distribuição dos pontos da questão 5 (a) e (b):

Categorias de resposta	Avaliação da resposta	Pontuação atribuída
0	deixou em branco	0,0
1	Correta	1,0
2 e 3	Intermediária	0,5
4	Incorreta	0,0



Histograma 17: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentados na questão 5 (a) e (b).

Comentário sobre os resultados estatísticos da questão 5 (a) e (b) da avaliação:

Dentre todas as questões do questionário, o teste qui-quadrado nos indicou relação significativa entre os conceitos envolvidos na questão 5(a) e (b) da avaliação com os precursores conceituais 1 (*Conceito de vetor e operações vetoriais*), 2 (*Grandezas escalares e vetoriais*), 4 (*Conceito de força*), 5 (*Leis de Newton*), 6 (*Superposição de efeitos*) e 3 (*Carga elétrica*), conforme mostra o diagrama abaixo.

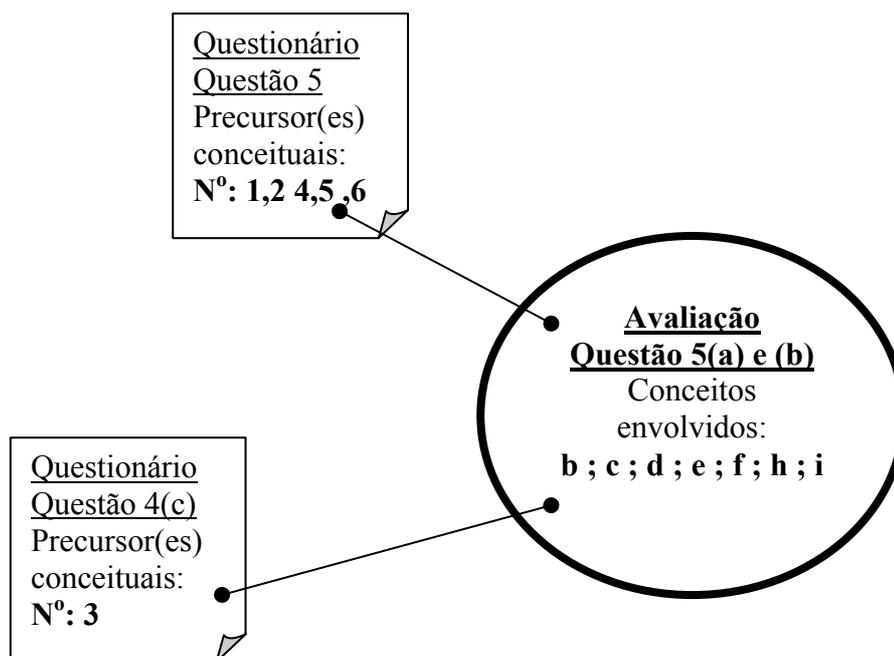


Diagrama 6: Relação entre precursores conceituais e os conceitos envolvidos na questão 5(a) e (b) da avaliação.

Este resultado mostra que um percentual significativo dos alunos que obtiveram sucesso ao resolver a questão 5 (a) e (b) da avaliação dominavam bem todos os precursores conceituais. Notadamente, a questão 5 (a) e (b) da avaliação envolvia um grande número de conceitos que formam o campo conceitual de campo de forças. São eles os conceitos da questão 5: **b** (*Força também como interação entre corpos à distância*), **c** (*Interação à distância só pode acontecer através de um ente físico denominado campo de forças*), **d** (*Existem diferentes fontes de campos de força*), **e** (*O campo de forças é uma grandeza vetorial podendo ser representado por um vetor num de determinado ponto*), **f** (*A presença de um campo de forças num determinado ponto não implica a existência de força neste ponto*), **h** (*O sentido da força elétrica exercida por um campo elétrico num determinado ponto depende do sinal da carga de prova ali colocada*) e **i** (*Dois campos de forças de naturezas diferentes, não se somam nem se interferem*).

Detalhamento do tratamento estatístico no cruzamento da questão 5(a) e (b) da avaliação com as questões do questionário.

Tabela cruzada 5: Relação entre os tipos de respostas dadas pelos alunos na questão 5 (a) e (b) CIE da avaliação e os tipos de respostas dadas por estes mesmos alunos na questão 4(c) do questionário.

		Questionário_Desempenho na questão 4c			Total
		Acerto	Erro	Não fez	
Avaliação questão 5(a) e (b) CIE	Correto	14	5	17	36
	Intermediário	7	4	9	20
	Errado	13	21	52	86
Total		34	30	78	142

O teste qui-quadrado, aplicado à distribuição de frequências nas células da tabela acima, mostrou tendência significativa de diferenciação entre os efetivos das referidas células ($\chi^2 = 9,752$, 4 g.l., $p=0,045$), o que indica ter havido uma relação significativa entre as categorias das variáveis cruzadas na tabela.

Podemos notar mais uma vez o número de acertos [14] da questão 5 da avaliação dentro do universo de questões que acertaram a questão 4(c) do questionário [34] é significativamente maior que o número de acertos da questão 5 da avaliação dos alunos que erraram ou não fizeram a questão 4(c) do questionário.

Tabela cruzada 6: Relação entre os tipos de respostas dadas pelos alunos na questão 5 (a) e (b) CIE da avaliação e os tipos de respostas dadas por estes mesmos alunos na questão 5 do questionário.

		Questionário_Desempenho na questão 5			Total
		Acerto	Erro	Não fez	
Avaliação questão 5(a) e (b) CIE	Correto	27	8	1	36
	Intermediário	7	11	2	20
	Errado	43	38	5	86
Total		77	57	8	142

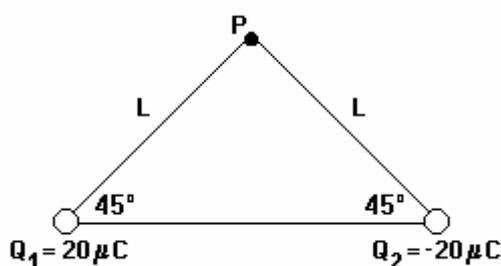
O teste qui-quadrado, aplicado à distribuição de frequências nas células da tabela acima, mostrou tendência significativa de diferenciação entre os efetivos das referidas células ($\chi^2 = 10,045$, 4 g.l., $p=0,040$), o que indica ter havido uma relação significativa entre as categorias das variáveis cruzadas na tabela.

Mais uma vez vemos aqui que alunos que acertaram a questão 5 do questionário tiveram uma tendência maior de acertar a questão 5 da avaliação.

A **sexta questão** exigia do aluno saber as equações para cálculo do campo elétrico gerado por cargas puntiformes, a representação destes campos num determinado ponto e a soma vetorial deles.

Questão 6:

A figura mostra um triângulo isósceles com o ângulo da base igual a 45° . Represente os vetores campo elétrico das cargas 1 e 2 no ponto P e calcule o módulo do campo resultante. (Dados: $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$; $L = 1 \text{ m}$; assumo $\sqrt{2} = 1,5$)



Para resolvê-la seria necessário, primeiramente, que o aluno soubesse representar corretamente os vetores gerados por cada carga elétrica no ponto P e calcular seus valores (que neste caso seriam iguais, já que as distâncias eram iguais e o valor das cargas também). O passo seguinte seria somar esses vetores, identificando que o ângulo entre eles era de 90° . Uma quantidade pequena de alunos (4,2%) conseguiu seguir todos esses passos

corretamente, enquanto que outro grupo de alunos conseguiu encontrar o valor do campo gerado por uma das cargas e fez a representação dos vetores no ponto P de maneira correta, mas não concluindo a soma destes. Este último padrão de resposta teve uma incidência de 17,6% e consideramos ela sofisticada e bem próxima do que estaria totalmente correto, já que o aluno consegue representar os vetores de maneira correta. Ainda houve uma grande quantidade que soube apenas representar os vetores, sem desenvolver nenhum cálculo matemático. Esta questão obteve 5 tipos de padrões de resposta.

1 – Respondeu corretamente.

$$E_1 = E_2 = \frac{kQ}{d^2}$$

$$E_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot |20 \cdot 10^{-6}|}{12^2}$$

$$E_1 = 180 \cdot 10^3$$

$$E_1 = 180000 \text{ N/C}$$

$$E_R = \frac{180000}{\frac{\sqrt{2}}{2}}$$

$$E_R = 360000$$

$$E_R = 240000$$

$$E_R = 24 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_1 = E_R \cdot \sin 45^\circ$$

$$E_R = 180000$$

$$E_R = 240000$$

 ou

$$E_R = 24 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

Aluno(a):119

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- mostrou-se ciente dos valores de E_1 e E_2 serem iguais
- calculou seus os valores corretamente
- somou os vetores corretamente, encontrando o valor correto
- representou o vetor soma corretamente

2 – Encontrou o valor do campo de uma das cargas, normalmente representando corretamente os vetores, mas não soube encontrar o campo resultante.

$$\vec{E}_1 = \frac{18 \cdot 10^{10}}{q}$$

$$\vec{E}_2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 20}{d^2}$$

$$d = 20^{10} = 9 \cdot 10^9 \cdot q$$

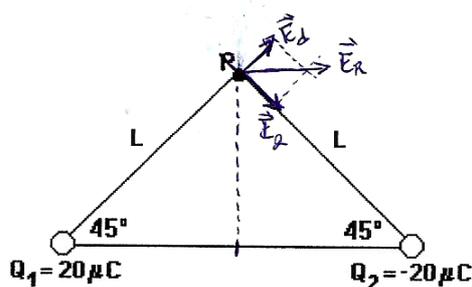
$$\vec{E}_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 20$$

$$q = \frac{18 \cdot 10^{10}}{9 \cdot 10^9}$$

$$\vec{E}_2 = 18 \cdot 10^{10}$$

$$q = 2 \cdot 10 = 20$$

Obs: Não me lembro como se resolve essa questão!



Aluno(a): 108

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- não mostrou-se ciente dos valores de E_1 e E_2 serem iguais
- calculou o valor de um dos campo corretamente.
- não somou os vetores corretamente
- representou o vetor soma corretamente

3 – Aplicou a lei de Coulomb e calculou a força entre as cargas Q_1 e Q_2 .

cargas Q_1 e Q_2 no ponto P e calcule o módulo do campo resultante. (Dados: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$, $L = 1\text{m}$, assume $\sqrt{2} = 1,4$)

$$\frac{b \cdot h}{2} = \frac{F = k \cdot q_1 \cdot q_2}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot (-20)}{(10\sqrt{2})^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-400)}{200} = -36 \cdot 10^9 = -3,6 \cdot 10^{10}$$

$$\frac{x}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$2x = 20\sqrt{2}$$

$$x = 10\sqrt{2}$$

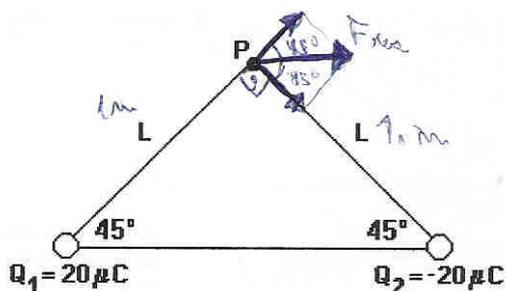
$$|F| = 3,8 \cdot 10^9$$

Aluno(a): 134

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- não representou o vetores
- utilizou uma equação inadequada

4 – Representou corretamente os vetores, mas não soube calcular os módulos.



Aluno(a): 131

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- apenas representou os vetores corretamente

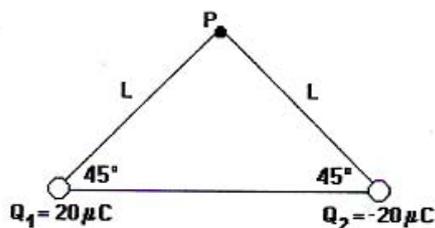
5 – Não resolveu corretamente.

$$Q_1 = \frac{kQ}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{\Delta^2} = 60 \cdot 10^3$$

$$Q_2 = \frac{kQ}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot -20 \cdot 10^{-6}}{\Delta^2} = -60 \cdot 10^3$$

$R = 10^6$

(5)



Aluno(a): 155

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

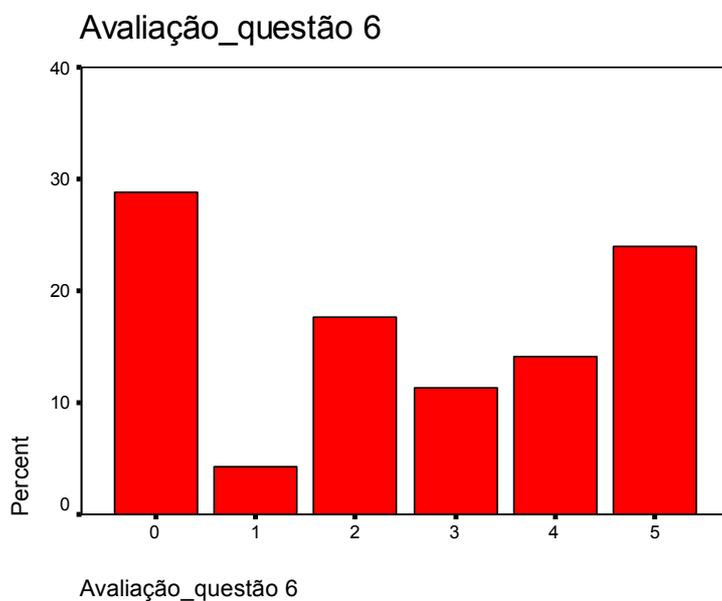
- não representou os vetores

- usou equações inadequadas

Distribuição de pontos da questão 6:

Categorias de resposta	Avaliação da resposta	Pontuação atribuída
0	deixou em branco	0,0
1	Correta	1,0

2	Intermediária	0,7
4	incorreto1 ⁴⁹	0,3
3 e 5	Incorreta2	0,0



Histograma 18: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentados na questão 6.

Comentário sobre os resultados estatísticos da questão 6 da avaliação:

O teste qui-quadrado não ofereceu resultados significativos no cruzamento das respostas encontradas na questão 6 da avaliação com as questões do questionário. Todavia, faz-se necessário destacar que encontramos um resultado muito próximo de $p=0,05$ para as questões 1 e 5 do questionário com a sexta questão da avaliação. Desta forma, temos o diagrama que relaciona a questão 6 da avaliação com as questões do questionário abaixo.

⁴⁹ Mesmo tendo recebido alguma pontuação, não nos pareceu adequado classificar esse tipo de resposta como “intermediário”.

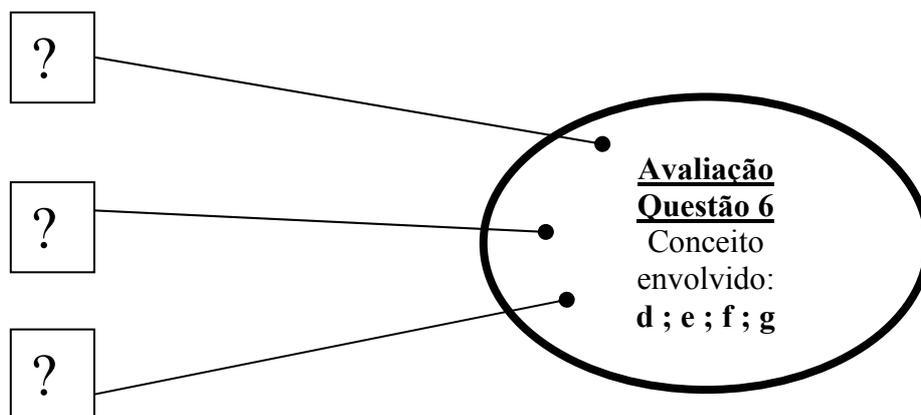
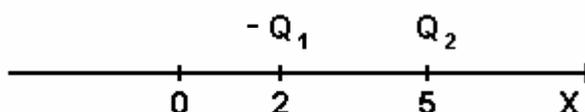


Diagrama 7: Relação entre precursores conceituais e os conceitos envolvidos na questão 6 da avaliação.

Esta observação é importante, pois os objetivos iniciais da **sétima questão** eram parecidos com os da questão anterior e o resultado estatístico foi praticamente o mesmo.

Questão 7:

Sobre o eixo x (x em metros) são fixadas duas cargas puntiformes, sendo uma positiva e outra negativa, $Q_1 = -2\mu\text{C}$ e $Q_2 = 8\mu\text{C}$, nos pontos de abscissas 2m e 5m , respectivamente, como representado no esquema adiante. Calcule o módulo do vetor campo elétrico resultante no ponto de abscissa 8m .



Para sua resolução, seria necessário, primeiramente, a representação dos vetores no ponto de abscissa $x=8\text{m}$. Esses vetores deveriam ter sentidos contrários e o vetor resultante teria como módulo (valor), portanto, a subtração dos módulos dos vetores campo elétrico gerados por cada uma das cargas. Os módulos desses campos deveriam ser calculados por (2).

Queríamos, entretanto, com esta sétima questão, verificar a representação dos vetores campo elétrico sobre uma reta que continha as duas cargas geradoras. Será que havia interferência na representação do vetor campo elétrico gerado pela carga Q_1 no ponto de abscissa $x=8\text{m}$ pela presença da carga Q_2 entre eles? Esperávamos encontrar respostas

que nos levassem a esta conclusão, o que não aconteceu. Os padrões de respostas encontrados não nos permitiram chegar a esta conclusão.

Por outro lado, dentre as diversas respostas, encontramos um padrão de resolução errado que apontava para a resposta cientificamente correta, qual seja, alguns alunos trataram os campos como grandezas escalares e encontraram, portanto, um valor positivo para o campo gerado pela carga Q_2 (que era positiva) e um valor negativo para a carga Q_1 (que era negativa) e, ao final, somaram algebricamente esses valores.

Notadamente, é comum verificarmos a preparação correta na resolução desta questão, com a representação dos vetores e descrição das equações, porém, não haver domínio na substituição correta dos valores do enunciado nessas equações (normalmente nos valores das distâncias envolvidas), levando a um resultado errado. Consideramos esse procedimento de resolução muito próximo da forma cientificamente correta.

Também era esperado por nós um padrão de resposta onde os valores dos vetores seriam somados, indicando uma representação errada dos vetores campo elétrico no ponto x (com os dois vetores apontando no mesmo sentido). Este padrão apareceu, mas com pouca incidência. Identificamos, nesta questão, seis padrões de respostas.

1 – Respondeu corretamente.

alcure o módulo do vetor campo elétrico resultante no ponto e abscissa 8m.

$E_{res} = E_{Q_2} - E_{Q_1}$

$E_{res} = 800 - 50 = 750$

$E_{Q_1} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{6^2} = \frac{10^5}{2} = 50$

$E_{Q_2} = \frac{k \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{3^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{3^2} = 8 \cdot 10^3 = 800$

Aluno(a):195

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- representou os vetores no ponto x corretamente
- calculou os valores dos campos usando as equações corretas e substituindo os valores corretos

- subtraiu seus valores por serem vetores de sentidos contrários

2 – Encontrou o valor de apenas um dos vetores.

$8 \text{ m} \rightarrow \phi = 48 \times 10^{-6}$
 $E = \frac{k \cdot \phi}{d^2}$
 $E = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 48 \cdot 10^{-6}}{8^2} \rightarrow \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1,8 \cdot 10^{-5}}{64 \cdot 10^2} \rightarrow \frac{16,2 \cdot 10^4}{6,4 \cdot 10^2} \cong 2,5 \times 10^3$

$Q_1 = -2 \times 10^{-6}$
 $Q_2 = 8 \times 10^{-6}$

Aluno(a): 126

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- mostra os cálculos do campo elétrico de apenas uma das cargas

3 – Chegou ao resultado tratando os vetores como grandezas escalares.

7 pontos de abscissas 2m e 5m, respectivamente, como representado no esquema a seguir. Módulo do vetor campo elétrico resultante no ponto

$\frac{k \cdot q}{3^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-2)}{9} = -18 \cdot 10^9 = -2 \cdot 10^9$

$\frac{k \cdot q}{3^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 8}{9} = 72 \cdot 10^9 = 8 \cdot 10^9$

$-2 \cdot 10^9 + 8 \cdot 10^9 \Rightarrow X = 6 \cdot 10^9$

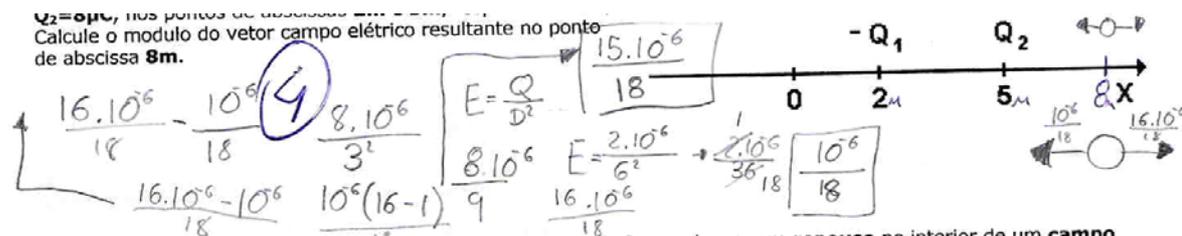
Aluno(a): 131

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- não representou os vetores no ponto x

- encontrou um valor positivo e outro negativo para os valores dos vetores.

4 – Desenvolveu corretamente a resolução da questão, representando os vetores e escrevendo as equações de maneira correta, mas não chegou ao resultado cientificamente correto.



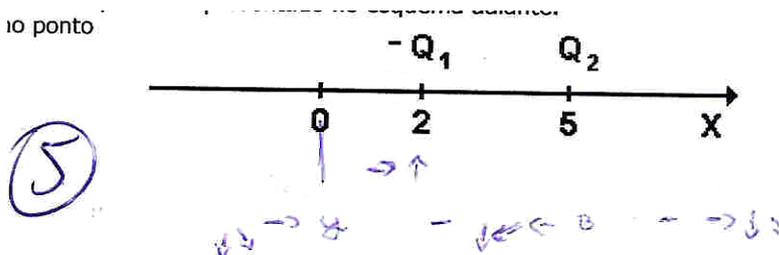
Aluno(a): 19

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- representou os vetores corretamente no ponto x
- usou as equações corretas
- não substituiu os valores corretamente

5 – Não respondeu corretamente.

10 ponto

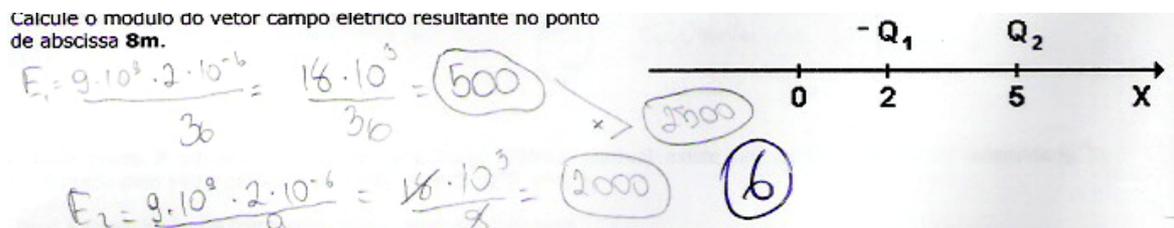


Aluno(a): 14

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- não representa os vetores
- não apresenta nenhuma equação

6 – Somou os valores dos campos.



Aluno(a): 158

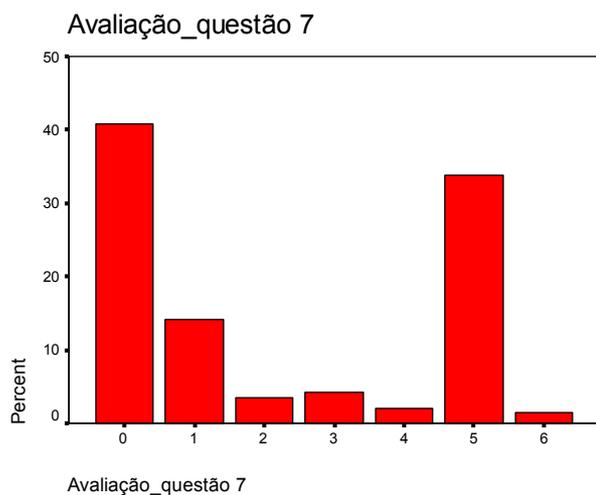
Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- usou as equações corretamente

- somou os valores encontrados

Distribuição de pontos da sétima questão:

Categorias de resposta	Avaliação da resposta	Pontuação atribuída
0	deixou em branco	0,0
1	Correta	1,0
4	Intermediária1	0,7
6	Intermediária2	0,5
3	Incorreta1	0,3
2 e 5	Incorreta2	0,0



Histograma 19: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentados na questão

7

Comentário sobre os resultados estatísticos da questão 7 da avaliação:

Com a utilização do teste qui-quadrado cruzando os tipos de respostas encontradas na questão 7 da avaliação com as questões do questionário, encontramos as relações mostradas no diagrama abaixo.

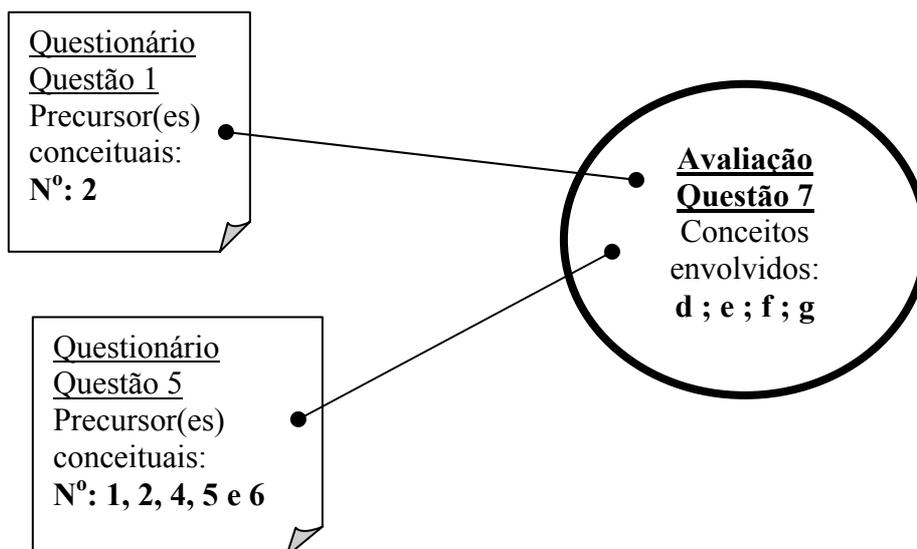


Diagrama 8: Relação entre precusores conceituais e os conceitos envolvidos na questão 7 da avaliação.

Este resultado mostra a importância do domínio de quase todos os precusores conceituais para resolver corretamente uma questão que envolve a representação e cálculo do vetor campo elétrico resultante num determinado a partir da soma de dois vetores campo elétrico gerados por duas cargas puntiformes, já que os conceitos envolvidos são: **d** (*Existem diferentes fontes de campos de força*), **e** (*O campo de forças é uma grandeza vetorial podendo ser representado por um vetor num de determinado ponto*), **f** (*A presença de um campo de forças num determinado ponto não implica a existência de força neste ponto*) e **g** (*Quando existem dois ou mais campos num determinado ponto, pode-se calcular o vetor campo de forças resultante somando-se vetorialmente todos os campos ali presentes*).

Lembremos que mesmo que não tenhamos encontrado resultados significativos na questão 6 da avaliação (tal questão tem os mesmo conceitos envolvidos que a questão 7), chegamos muito próximos a isso. Além disso, estes resultados mostravam relação significativa com as mesmas questões do questionário, quais seja, as questões 1 e 5.

Detalhamento do tratamento estatístico no cruzamento da questão 7 da avaliação com as questões do questionário.

Tabela cruzada 7: Relação entre os tipos de respostas dadas pelos alunos na questão 7 CIE da avaliação e os tipos de respostas dadas por estes mesmos alunos na questão 1 do questionário.

		Questionário_Desempenho na questão 1		Total
		Acerto	Erro	
Avaliação questão 7 CIE	Correto	14	6	20
	Intermediário	3	2	5
	Errado	47	70	117
Total		64	78	142

O teste qui-quadrado, aplicado à distribuição de freqüências nas células da tabela acima, mostrou tendência significativa de diferenciação entre os efetivos das referidas células ($\chi^2=6,605$, 2 g.l., $p=0,037$), o que indica ter havido uma relação significativa entre as categorias das variáveis cruzadas na tabela.

Podemos perceber aqui uma tendência acerto-acerto e erro-erro entre a questão 1 do questionário e a questão 7 da avaliação.

Tabela cruzada 8: Relação entre os tipos de respostas dadas pelos alunos na questão 7 CIE da avaliação e os tipos de respostas dadas por estes mesmos alunos na questão 5 do questionário.

		Questionário_Desempenho na questão 5			Total
		Acerto	Erro	Não fez	
Avaliação questão 7	Correto	17	2	1	20

CIE	Intermediário	2	3	5
	Errado	58	52	7
Total		77	57	142

O teste qui-quadrado, aplicado à distribuição de frequências nas células da tabela acima, mostrou tendência significativa de diferenciação entre os efetivos das referidas células ($\chi^2=10,026$, 4 g.l., $p=0,040$), o que indica ter havido uma relação significativa entre as categorias das variáveis cruzadas na tabela.

Mais uma vez a relação acerto-acerto e erro-erro aparece neste cruzamento.

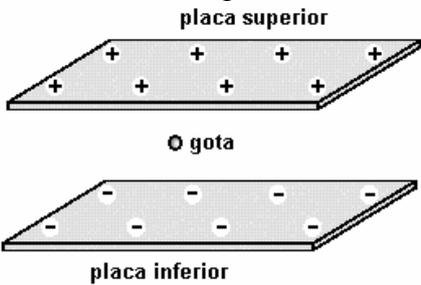
A **oitava questão (a) e (b)** apresentava uma situação onde dois campos uniformes agiam sobre uma partícula simultaneamente: um campo elétrico, gerado por duas placas planas e paralelas e o campo gravitacional terrestre⁵⁰.

Questão 8:

Uma gota de óleo de 6mg e eletrizada com carga $q = -10\mu\text{C}$ encontra-se em repouso no interior de um campo elétrico uniforme. (adote $g=10\text{m/s}^2$)

a) Qual o valor do campo elétrico entre as placas?

b) Caso a gota se aproximasse da placa negativa, ela ficaria submetida a uma força elétrica maior, menor ou de mesma intensidade? Justifique.



placa superior

placa inferior

gota

Tínhamos dois objetivos, quais sejam, verificar se havia domínio na representação destas forças de naturezas diferentes atuando sobre uma mesma partícula e se esta atuação era uniforme, ou seja, se eram independentes da posição da partícula dentro destes campos, onde o valor das forças ficaria inalterado quer a partícula estivesse se deslocando ou não. Esta situação era particularmente diferente da situação mostrada na questão cinco, onde se deveriam representar esses mesmos campos gerados por uma partícula.

⁵⁰ Para pequenas variações de altura, consideramos o campo gravitacional terrestre uniforme.

Representar as duas forças agindo sobre o mesmo corpo não pareceu ser um problema na resolução da letra (a) e a idéia de repouso implicando uma força resultante igual a zero é amplamente aceita. Desta forma, foi grande a quantidade de alunos que igualaram as duas forças e substituíram corretamente as equações. Porém, mesmo com o procedimento correto, muitas foram as incidências de respostas erradas, mais uma vez por não substituírem os valores corretos nas equações.

A equação para determinação do campo elétrico gerado por uma carga puntiforme (2) apareceu na letra (a). Porém, esta equação (2) não apareceu nas resoluções que apresentavam a igualdade das forças $P = F_e$ e, portanto, $m \cdot g = q \cdot E$.

Em outros casos, os alunos trataram os campos como forças e tentaram resolver a questão segundo a igualdade $P + E = F_e$.

Desta forma, identificamos cinco padrões de resposta para a **oitava questão letra (a)**, abaixo discriminados.

1 – Respondeu corretamente.

Qual o valor do campo elétrico entre as placas?

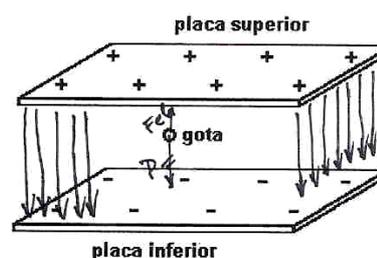
$$10^{-6} \cdot 6 \cdot 10 = q \cdot E$$

$$6 \cdot 10^{-5} = +10 \cdot 10^{-6} \cdot E$$

$$E = \frac{6 \cdot 10^{-5}}{10^{-5}} \quad E = +6 \text{ c}$$

E = 6 c

Caso a gota se aproximasse da placa negativa,



Aluno(a):48

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- igualou a força peso à força elétrica
- substituiu os valores corretamente

2 – Igualou as equações corretamente, mas não chegou ao resultado cientificamente correto por substituição errada de valores.

Qual o valor do campo elétrico entre as placas?

$$F_e = P$$

$$q \cdot c = m \cdot g$$

$$-10 \cdot c = 6 \cdot 10$$

$$-10c = 60$$

$$c = \frac{60}{-10}$$

$$c = -6$$

Quando a gota se aproximasse da placa negativa,

Aluno(a): 51

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- os valores substituídos diferem dos valores fornecidos no enunciado da questões.

3 – Usou a fórmula do campo elétrico gerado por uma carga puntiforme.

$$F = k \cdot \frac{q \cdot Q}{d^2}$$

$$F = \frac{6 \cdot 10}{10^2} = \frac{60}{100} = 0,6$$

Aluno(a): 94

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- calculou um suposto campo elétrico criado por uma carga puntiforme

4 – Não respondeu corretamente.

Qual o valor do campo elétrico entre as placas?

0, (ZERO)

4

Aluno(a): 19

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- não utilizou nenhum procedimento de resolução e atribuiu um valor errado.

5 – Tratou o campo como uma força e igualou $P + E = F_e$.

Qual o valor do campo elétrico entre as placas:

$$\begin{aligned} E + P &= F_e \\ E \cdot 10^{-6} &= 10^{-6} \cdot E \\ 6 \cdot 10^{-6} &= 2 \cdot 10^{-6} \cdot E \\ E &= 6 \cdot 10^{-6} = E = 3C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= E \\ E &= 6 \cdot 10^{-6} = 6 \mu C \end{aligned}$$

b) Caso a gota se aproximasse da placa negativa.



Aluno(a): 107

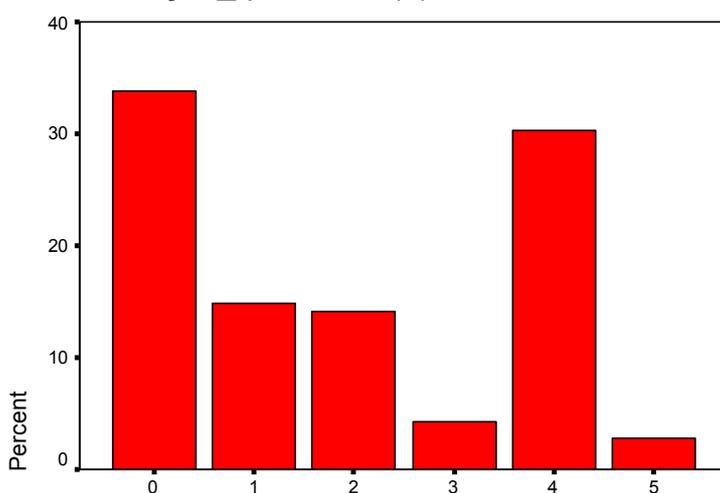
Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- as anotações mostram uma igualdade errada

Distribuição de pontos da oitava questão (a):

Categorias de resposta	Avaliação da resposta	Pontuação atribuída
0	deixou em branco	0,0
1	Correta	1,0
2	Intermediária	0,7
3, 4 e 5	Incorreta	0,0

Avaliação_ questão 8 (a)



Avaliação_ questão 8 (a)

Histograma 20: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentados na questão 8 (a).

Comentário sobre os resultados estatísticos da questão 8(a) da avaliação:

Mesmo envolvendo muitos conceitos, a questão 8(a) da avaliação não apresentou relação significativa com nenhuma questão do questionário. Esta questão tinha como elemento conceitual bem diferente das demais questões da avaliação, a representação de um *campo elétrico uniforme*, cuja principal diferença se encontra no conceito **j** (*Campo de forças uniforme, como um tipo de campo que se caracteriza por apresentar o vetor campo elétrico sempre com o mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido*). Os demais conceitos envolvidos nesta questão já haviam aparecido em questões anteriores com relações significativas. Desta forma, o diagrama abaixo ilustra esta falta de relação significativa.

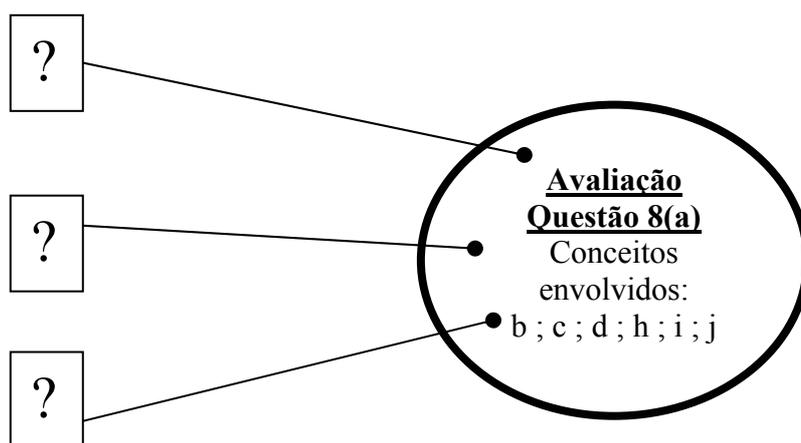


Diagrama 9: Relação entre precursores conceituais e os conceitos envolvidos na questão 8(a) da avaliação.

O resultado que encontramos nesta questão não foi significativo, mas muito próximo disso e merece atenção.

Tabela cruzada 9: Relação entre os tipos de respostas dadas pelos alunos na questão 8(a) CIE da avaliação e os tipos de respostas dadas por estes mesmos alunos na questão 1 do questionário.

		Questionário_Desempenho na questão 1		Total
		Acerto	Erro	
avaliação q8aCIE	Correto	14	7	21
	Intermediário	6	14	20
	Errado	44	57	101
Total		64	78	142

O teste qui-quadrado, aplicado à distribuição de freqüências nas células da tabela acima, não mostrou tendência significativa de diferenciação entre os efetivos das referidas células ($\chi^2 = 5,884$, 2 g.l., **p=0,053**). Entretanto, vemos que a questão 8(a) da avaliação (que envolve o conceito de campo uniforme) tem uma relação quase significativa com a questão 1 do questionário (precursor conceitual 2).

Na **oitava questão letra (b)**, a idéia de um campo gravitacional gerado pela Terra e agindo sobre a partícula nos pareceu mais forte do que numa situação de um campo gravitacional gerado por um corpo qualquer. Ou seja, mesmo sem a visualização da Terra na figura da questão oito, os alunos são mais fiéis à representação correta do vetor campo gravitacional terrestre do que de um campo gravitacional gerado por um corpo qualquer, ainda que este corpo esteja sendo representado na própria figura.

Outro detalhe: mesmo com o enunciado da questão afirmando, em negrito, que o campo elétrico entre as placas era uniforme, as respostas apresentadas na letra (b) mostravam uma segurança maior quanto à uniformidade do campo gravitacional do que no campo elétrico. Chegamos a esta conclusão porque alguns alunos interpretaram, erroneamente, que para a gota estar descendo seria necessária uma força resultante

diferente de zero apontando para baixo (esqueceram que em M.R.U.⁵¹ a força resultante também é nula) e partindo desta tese apareceram respostas do tipo “*como a força peso não pode aumentar, a força elétrica teve que diminuir*”. Identificamos seis padrões de resposta para esta questão.

1 – Respondeu corretamente.

“*de mesma intensidade, pois a gota está submetida a um campo elétrico uniforme*”

Aluno(a):20

Aspectos da resolução que o atribuem esta classificação:

- forneceu a resposta correta e justificou corretamente

2 – Respondeu corretamente, mas não justificou.

“*de mesma intensidade*” Aluno(a): 164

3 – Respondeu “maior”, justificando pelo fato da distância à placa negativa ter diminuído/ ou porque a distância à placa positiva aumentou.

“*maior intensidade. a força é inversamente proporcional à distância das cargas*”

Aluno(a): 148

4 – Respondeu “menor”, justificando que o peso não poderia ter aumentado.

“*menor, porque a força peso teria de ser maior que a força elétrica. E como o peso não varia, seria a força elétrica que teria de diminuir.*” Aluno(a): 99

5 – Maior ou menor, sob qualquer outra justificativa ou não justificou.

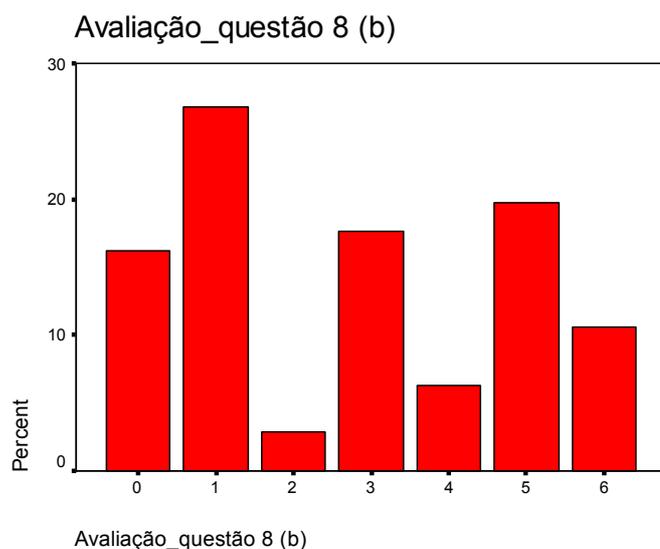
6 – resposta não foi clara o suficiente/ justificou errado.

“*mesma intensidade, por causa do movimento uniforme*” Aluno(a): 95

Distribuição da oitava questão (b):

⁵¹ M.R.U. significa movimento retilíneo e uniforme. Esta é uma forma de equilíbrio (equilíbrio dinâmico).

Categorias de resposta	Avaliação da resposta	Pontuação atribuída
0	deixou em branco	0,0
1	Correta	1,0
2	Intermediária	0,3
3, 4, 5 e 6	Incorreta	0,0



Histograma 21: Distribuição percentual dos padrões de respostas apresentados na questão 8(b).

Comentário sobre os resultados estatísticos da questão 8(b) da avaliação:

A letra b da oitava questão, assim como a letra a, também exigia do aluno o domínio sobre comportamento de um campo elétrico uniforme e a força por ele aplicada numa partícula. Mais uma vez não conseguimos encontrar nenhuma relação significativa entre as respostas dadas a esta questão e as questões do questionário.

Lembramos mais uma vez que isto não significa que esta relação não exista. Acreditamos que o nosso instrumento de pesquisa não conseguiu identificar quais são os precursores conceituais que dominados antes de uma instrução formal de campo de forças facilitariam o aprendizado do conceito de campo de forças uniforme.

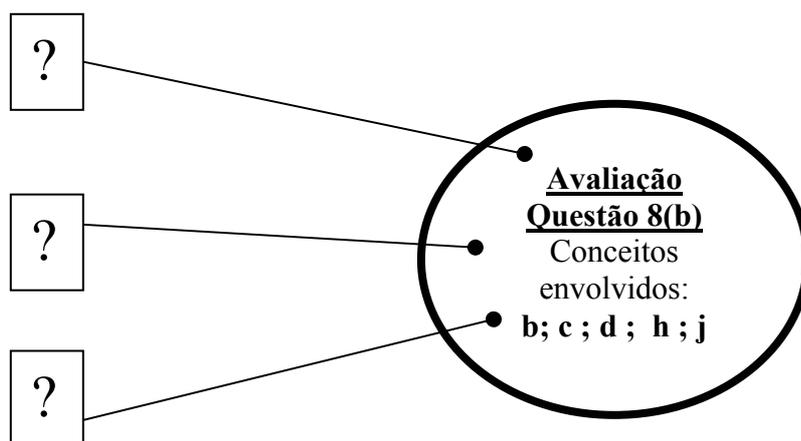


Diagrama 10: Relação entre precursores conceituais e os conceitos envolvidos na questão 8(b) da avaliação.

Mesmo não tendo encontrado um resultado significativo, encontramos uma relação muito próxima da significativa entre a questão 8(b) com a primeira questão do questionário, conforme tabela e resultados abaixo.

Tabela cruzada 10: Relação entre os tipos de respostas dadas pelos alunos na questão 8(b) CIE da avaliação e os tipos de respostas dadas por estes mesmos alunos na questão 1 do questionário.

		Questionário_Desempenho na questão 1		Total
		Acerto	Erro	
avaliação q8bCIE	Correto	23	15	38
	Intermediário	1	3	4
	Errado	40	60	100
Total		64	78	142

O teste qui-quadrado, aplicado à distribuição de frequências nas células da tabela acima, não mostrou tendência significativa de diferenciação entre os efetivos das referidas células ($\chi^2 = 5,356$, 2 g.l., $p=0,069$).

Capítulo 5

Considerações finais e conclusões

Quem é professor sabe que nossos alunos apresentam heterogeneidade de conhecimentos, interesses e desempenhos escolares. Mas qual a origem de tal heterogeneidade? Para esta pergunta não dispomos de resposta definitiva, apenas fazemos suposições. E com relação aos diferentes desempenhos escolares que nossos alunos apresentam em avaliações que envolvem campo de forças, supúnhamos que o domínio prévio de alguns conceitos tinha interferência direta.

Os caminhos que um indivíduo percorre e os conceitos que ele se utiliza para compreender um novo conceito são diversos, de uma riqueza incontável e idiossincrática. Essas estratégias são construídas ao longo da vida do sujeito, com experiências de sucesso e fracasso na tentativa de compreender e dominar outras situações que, em algum aspecto, se assemelham a uma nova situação. Tentar descobrir quais foram todos os caminhos utilizados e todas as experiências que um sujeito já viveu, que o beneficiam na compreensão de um novo conceito é uma tarefa impossível. Tarefa impossível porque não temos instrumento pra isso. Não temos como rastrear todas essas experiências e conceitos que contribuem, umas mais outras menos, na compreensão de um novo. Todavia, podemos identificar alguns destes conceitos que acreditamos ter contribuição direta na compreensão de um conceito específico.

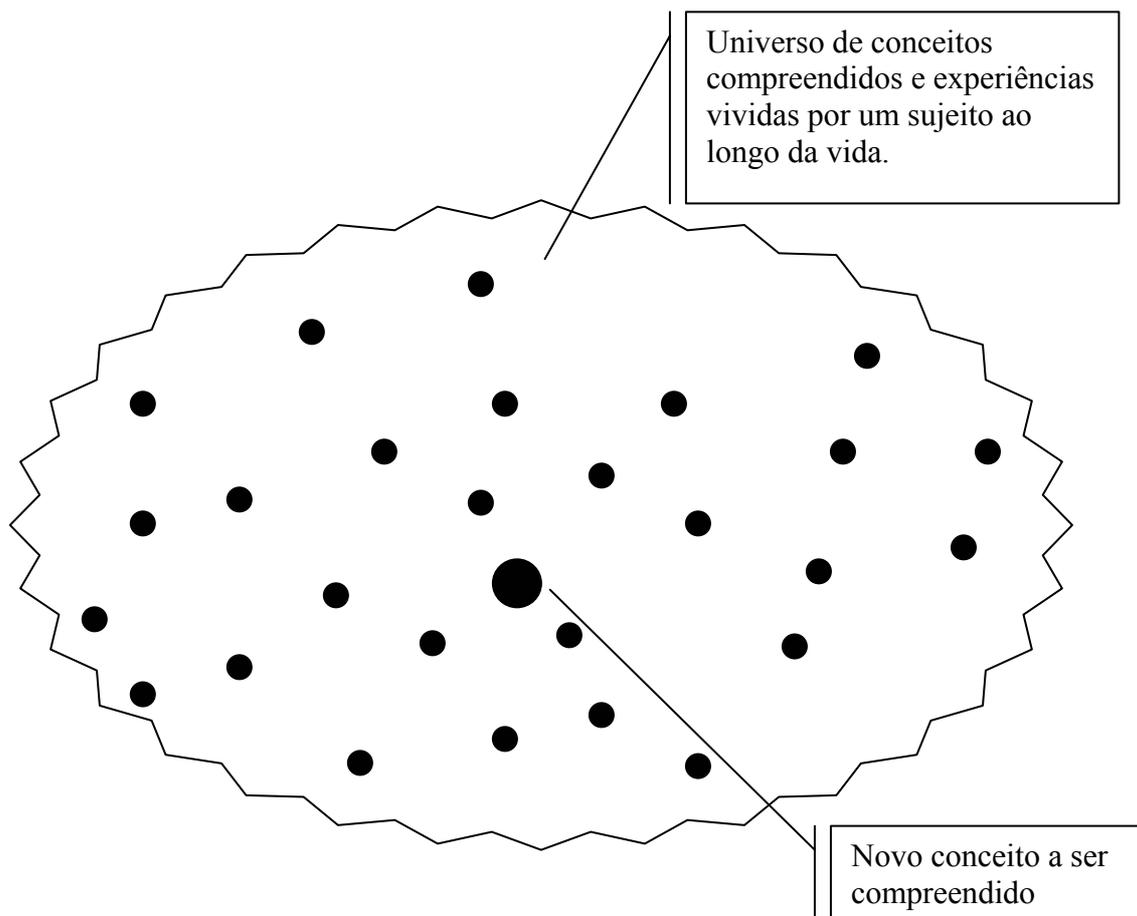


Diagrama 11: Representação dos conceitos e experiências vividas por um sujeito que de alguma forma contribuem para a compreensão de um novo conceito.

Nesta dissertação, tentamos identificar conceitos relevantes no aprendizado do conceito de campo de forças a partir dos aspectos levantados por Vergnaud (1991) como importantes em ensino de ciências para compreender e explicar o processo de conceptualização, quais sejam, *Especificação dos processos de aprendizagem em termos do tipo de conteúdo aprendido, Organização psicológica dos conceitos, Organização dos conceitos em campos conceituais.*

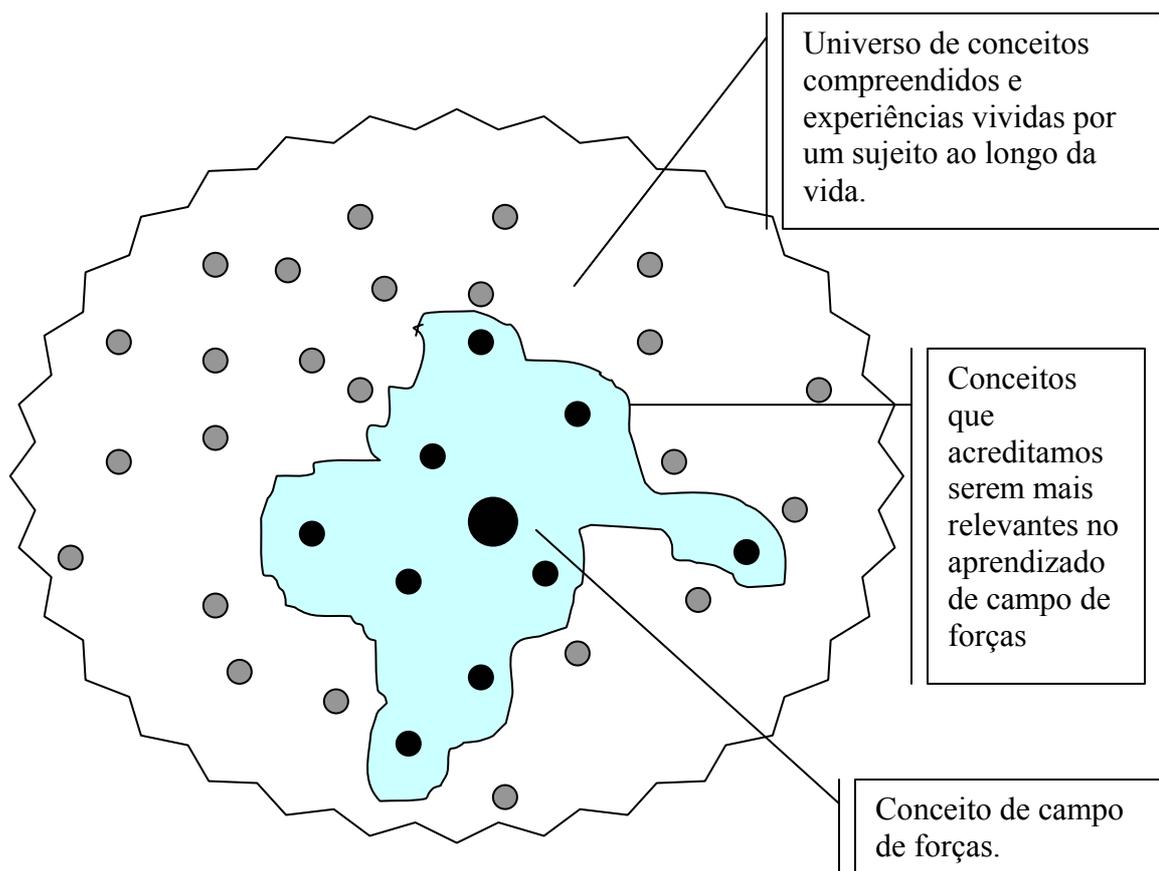


Diagrama 12: Destaque de alguns dentre os diversos fatores que contribuem para o aprendizado do conceito de campo de forças.

Para o aprendizado de campo de forças, com ênfase em campo elétrico, estes conceitos, que chamamos aqui de precursores conceituais, foram principalmente assuntos estudados, em física, no ano anterior pelos estudantes que participaram desta pesquisa.

Sabíamos que ao analisar estatisticamente o cruzamento do nível de conceptualização que os estudantes possuíam acerca de assuntos estudados no ano anterior com os resultados na avaliação sobre campo de forças após a instrução formal, corríamos o risco de não encontrarmos sistematicamente resultados significativos. Entretanto, a suposição que tínhamos inicialmente de que existe uma relação identificável entre precursores conceituais do conceito de campo de forças, como operações vetoriais, grandezas escalares e vetoriais, carga elétrica, conceito de força, leis de Newton e

superposição de efeitos e os conceitos que participam da construção do campo conceitual de campo de forças, encontrou certo respaldo empírico nesta pesquisa.

A primeira conclusão que tiramos, a partir dos resultados, é que os alunos que mostraram ter um bom domínio de todos os precursores conceituais, a partir das repostas do questionário, obtiveram melhores desempenhos nas questões de nível mais alto na avaliação, já que envolviam operações matemáticas mais complexas e grande número de conceitos envolvidos, como é o caso das questões 5(a) e (b), 6 e 7.

Dentre todos os precursores conceituais, identificamos como de maior relevância os precursores 2 (*grandezas escalares e vetoriais*) e 3 (*carga elétrica*), pois pelo menos um destes precursores apareceu em todos os resultados significativos que encontramos. O precursor 2 apareceu cinco vezes nos resultados, enquanto o 3 apareceu três vezes.

Este resultado nos chama a atenção por duas razões: em primeiro lugar, a distinção de grandezas escalares e vetoriais não é, tradicionalmente, discutida com a devida atenção pelos livros didáticos normalmente adotados no ensino médio e conseqüentemente são menos trabalhados em sala de aula pelos professores. Sem dúvidas, até mesmo grandezas primárias como a velocidade, estudada normalmente no início dos estudos de física no ensino médio, apresentam-se pouco claras aos alunos sobre seu caráter vetorial.

Em segundo lugar, o conceito de carga elétrica não é estudado tradicionalmente, em física, no primeiro ano do ensino médio das escolas. Alunos que apresentaram ter domínio sobre este conceito, obtiveram este conhecimento prévio através de outros meios que não nas aulas de física do ano anterior, provavelmente nas aulas de química e/ou revistas e afins.

Notemos ainda, que o conceito de carga elétrica se mostrou como único precursor conceitual de relação significativa com o conceito e apresentado na questão 4(b) da avaliação.

Conceito e:

e) O campo de forças é uma grandeza vetorial podendo ser representado por um vetor num de determinado ponto. Para o campo elétrico, gerado por uma carga puntiforme, este vetor tem as seguintes características:

e.1) Tem direção radial com a carga elétrica ocupando centro da casca esférica que contém o ponto de representação do vetor campo elétrico.

e.2) Aponta para o centro da carga quando esta possui carga elétrica negativa e no sentido contrário ao centro quando esta possui carga positiva. (abaixo temos a representação bidimensional do que se refere os itens e.1 e e.2:



e.3) O módulo deste vetor \vec{E} num determinado ponto depende *exclusivamente* do módulo da carga Q que gera o campo representado e da distância d deste ponto à carga, sendo a equação que governa a relação entre estes valores dada por (2). Desta forma, o módulo do campo elétrico é inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto à carga.

O conceito e trata da representação do vetor campo elétrico num ponto qualquer ao redor de uma carga puntiforme. Este conceito é de grande importância para a formação do

campo conceitual psicológico do aluno, por dissociar a existência do campo, da existência da força aplicada a uma carga de prova que esteja presente naquele campo.

Estes resultados nos levam a refletir sobre as mudanças curriculares que podem ser feitas no primeiro ano do ensino médio. O curso de cinemática escalar e vetorial, onde se introduz a diferenciação entre estes tipos de grandezas parece não atingir seu objetivo mínimo. O tempo despendido com o excesso de problemas com utilização de funções horárias, onde se tratam as grandezas velocidade, aceleração e deslocamento como grandezas escalares deveria ser revisto. Esta falta de atenção que se encontra no estudo da cinemática implica em prejuízos de aprendizado no ensino de campo de forças muito mais adiante.

Já no curso das leis de Newton, também estudado no primeiro ano do ensino médio, o estudo da interação entre os corpos apenas através do contato parece limitado. A discussão em sala de aula sobre interação entre corpos à distância também deveria ser reavaliada. Exemplos práticos como ímãs de geladeira ou pêlos atraídos por cadeiras plásticas e visor de televisão podem ser usados como forma de reflexão com os alunos de forma a prepará-los com ferramentas cognitivas que os ajudarão a representar interação entre cargas elétricas no futuro. As leis de atração e repulsão entre cargas e ímãs podem ser estudados no primeiro ano sem nenhum formalismo matemático, mas apenas como forma de conscientiza-los de um fenômeno possível de existir, diminuindo a distância do salto cognitivo terá que ser dado mais adiante.

Muñoz, H. (1992), apresenta o volume 1 de um livro didático usado no Chile, que pode ser utilizado já no primeiro ano do ensino médio, com uma seqüência inicial voltada para as causas do movimento. Ele inicia o estudo de física segundo a seqüência didática:

- 1) O conceito de força como grandeza vetorial, com seus tipos e efeitos e quando mais de uma força é aplicada sobre um corpo (superposição de efeitos);

- 2) Princípio de inércia;
- 3) Conceito de massa e sua conservação;
- 4) Carga elétrica e sua conservação;
- 5) Força peso e gravidade;
- 6) Interação gravitacional e interação elétrica.

Esta seqüência mostra uma preocupação especial com os diferentes tipos de interação [qual a natureza da interação e como pode ser representada] que pode existir entre corpos. Estas interações são a base causal de todos os diferentes tipos de movimentos que existem. Os assuntos que se seguem a esta seqüência são:

- 7) A lei de conservação de energia e trabalho;
- 8) Caráter vetorial da velocidade e da aceleração;
- 9) Segunda lei de Newton.

Não pretendemos indicar esta como a seqüência ideal a ser seguida em nossas aulas, mas para que demos atenção a alternativas de seqüências didáticas que valorizam interação também à distância e destacam a velocidade e a aceleração como grandezas vetoriais desde início do estudo de física no ensino médio.

Esta dissertação não nos deu resultados significativos nos cruzamentos com as questões da avaliação que traziam campo uniforme, mas chegamos muito próximos disso. Nas duas perguntas sobre campo uniforme, questão 8 (a) e (b), tivemos relação significativa com o precursor conceitual número 2 e apenas com ele. Este resultado nos leva a eleger este precursor (*grandezas escalares e vetoriais*) como o de maior importância para o estudo de campo de forças. Um resultado inesperado, por não nos parecer um dos precursores mais importantes listados aqui neste trabalho.

Os resultados que encontramos indicam relações que esperávamos existir. Mas mais que isso. Indica relações entre conceitos específicos e precursores específicos que não poderíamos relacionar apenas com nossa experiência de sala de aula.

Desta forma, sobre as novas propostas curriculares para o ensino médio em física, acreditamos que elas deveriam se preocupar especialmente com os conceitos de carga elétrica e grandezas escalares e vetoriais desde o início do estudo de física, por serem tão importantes no aprendizado de um conceito tão importante e central como o de campo de forças, ou seja, campo elétrico, magnético e gravitacional.

A curto prazo, nós professores podemos pensar agora numa proposta de ensino que valorize mais estes precursores citados como relevantes nesta pesquisa e dar mais atenção a conceitos normalmente relevados nas nossas aulas.

Os resultados desta pesquisa podem ser aperfeiçoados com novas pesquisas sobre o assunto. Uma proposta seria dar um passo além da descrição da relação entre precursores conceituais e conceitos, buscando verificar a relevância de propostas didáticas como aquela relatada por Muñoz, H. (1992) no sentido da construção de campos conceituais mais complexos e dinâmicos.

6. Referências

BLIN-STOYLE, R.J. The end of mechanistic philosophy and the rise of field physics. In: *Turning points in Physics*. Amsterdam, 1959.

BORGES, A. Modelos mentais de eletromagnetismo. *Caderno catarinense de ensino de física*, Vol 15, Nº 1. Santa Catarina, 1998.

CHEVALLARD, Y. *La transposition didactique*. Grenoble, La Pensée Sauvage. 1985

DA ROCHA FALCÃO, J. Elementos para uma abordagem psicológica do desenvolvimento de conceitos científicos e matemáticos. 1996. In: Borges Dias, M. & Spinillo, A. (org.) *Tópicos em Psicologia Cognitiva*: Editora Universitária da UFPE. Recife, 1996.

DA ROCHA FALCÃO, J.T. A case study of algebraic scaffolding: from balance scale to algebraic notation. *Proceedings of the XIXth International Conference for the Psychology of Mathematics Education*. Vol. 2, pp. 66-73, Recife (Brazil), 1995.

DAMÁSIO, A. R. O erro de Descartes: emoção, razão e cérebro humano. Companhia das Letras. São Paulo, 1996.

DOLLE, J. M. Para além de Freud e Piaget. Vozes. Petrópolis, 1993

FÁVERO, M. ; SOUSA, C. A resolução de problemas em física: revisão de pesquisa, análise e proposta metodológica. 2001. disponível em http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol6/n2/v6_n2_a3.htm.

Acesso em: 22/Jul/2003

FEYNMAN, R. Física em seis lições. Califórnia Institute of Tecnology. Ediouro, 1963.

FURIÓ, C. & GUIASOLA J. La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñaza de las ciencias*, 19 (2), 2001

GRECA, I. & MOREIRA, M. (a) Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. Caderno catarinense de ensino de física. Vol 15, Nº 2. Sta Catarina, 1998.

GRECA, I. & MOREIRA, M.. (b) Modelos mentales Y aprendizaje de física en electricidad Y magnetismo. Enseñaza de las ciencias. Vol 16 (2), 1998.

GRECA, I. & MOREIRA, M. Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones, y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. Investigações em ensino de ciências Vol. 1 (1), 1995.

GROUEFF, S. & CARTIER, J. P. O Enigma do Cosmo. Editora Primor. São Paulo, 1978.

LLANCAQUEO, A. ET AL. El aprendizaje del concepto de campo en física: una Investigación exploratória luz de la teoria de Vergnaud. Revista brasileira de ensino de física, Vol 25. São Paulo, 2003

MAGALHÃES, M. et al. Uma Proposta para Ensinar os Conceitos de Campo Elétrico e Magnético: uma Aplicação da História da Física. Revista brasileira de ensino de física, vol. 24, 2002

MEIRA, L. Zonas de Desenvolvimento Proximal nas salas de aula de ciências e matemática.. Revista Vetor, 2004

MOREIRA, M. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. 2002.

Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a1.html. Acesso em 23/Jul/2003

MUÑOZ, H. Introduccion a la mecanica de Newton. Ediciones pedagogicas chilenas. 1992.

NARDI, R. Campo de forças: subsídios históricos e psicogenéticos para a construção do ensino desse conceito. Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 1991.

PIAGET, J. Epistemologia genética. São Paulo, Martins Fontes,1990.

PIAGET, J. A equilibração das estruturas cognitivas. Zahar Editores. Rio de Janeiro, 1976

PIAGET, J. Biologia e conhecimento: ensaio sobre as relações entre as regulações orgânicas e os processos cognoscitivos. Vozes. Petrópolis, 1973.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: O papel do conhecimento físico no entendimento do mundo. 2001 In: Pietrocola, M (org.) . Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Editora da UFSC. Florianópolis, 2001.

ROBILOTTA, M.R. *Construção e realidade no ensino de física*. Publicação interna – IFUSP, São Paulo, 1985.

SEARLE, J.R. Mente, linguagem e sociedade. Rocco. Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, J.A.A. da. Conceitualização em Física: Uma Psicanálise Sobre o Campo Conceitual da Óptica. Tese de mestrado, Dept de Psicologia Cognitiva-UFPE. Recife, 2003.

SCHUBAUER-LEONI, M.L., PERRET-CLERMONT, A.N. Interactions sociales dans l'apprentissage de connaissances mathématiques chez l'enfant, in: Mugny, G. (ed) *Psychologie sociale du développement cognitif*. Berne, Peter Lang, pp.225-250., 1985

SCHUBAUER-LEONI, M.L., PERRET-CLERMONT, A.-N. Social interactions and mathematics learning. IN: Nunes, T., Bryant, P. *Learning and teaching mathematics: an international perspective*. London, Psychology Press., 1997.

VERGNAUD, G. . Psychologie du developpement et didactique des mathématiques. Un exemple: les structures additives. *Petit X*, 22: 51-69., 1989-1990

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. 10(23), 133-170., 1990.

VERGNAUD, G. Multiplicative structures. In: Lesh, R. and Landau, M. (Eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. pp. 127-174., 1983b

VERGNAUD, G. Au fond de l'apprentissage la conceptualisaion. Actes de l'Ecoled'Et. IREM de Cermond Ferrand, pp. 174-185, 1995.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2); 167-181, 1998.

VYGOTSKI, L.S. *A construção do pensamento e da linguagem*. Martins Fontes. São Paulo, 2001

ZAGURY, T. (2006) *O Professor refém*. Record. Rio de Janeiro e São Paulo, 2006

ZYLBERSZTAJN, A. ; SOUZA, S. O enfoque ciência tecnologia e sociedade e a aprendizagem centrada em eventos. 2001 In: Pietrocola, M (org.) (2001). *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Editora da UFSC. Florianópolis, 2001.

Apêndices

APÊNDICE A – Um exemplo⁵² de seqüência didática e abordagem tradicional do conceito de campo elétrico em sala de aula no ensino médio.

CAMPO ELÉTRICO

ANALOGIA COM O CAMPO GRAVITACIONAL

Na intenção de tornar o assunto mais próximo de nossa vivência, vamos discutir primeiro o campo de forças criado pela Terra, ou melhor, o seu campo gravitacional. Como a figura sugere, existe “algo” em torno da terra, responsável pela aplicação da força gravitacional sobre qualquer outro corpo que nele penetre.

O campo gravitacional terrestre pode ser caracterizado por um vetor campo gravitacional \vec{g} . Assim, um corpo colocado num ponto qualquer deste campo, fica sujeita à força gravitacional. (O peso do corpo).

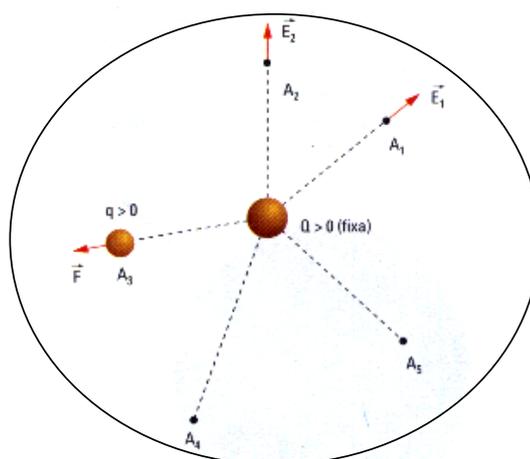
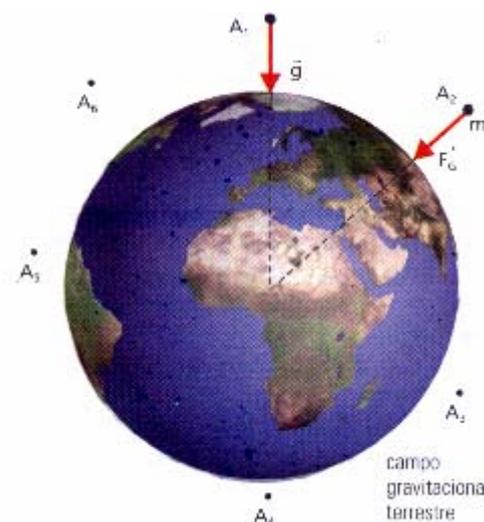
$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

Podemos, inclusive, calcular o valor desta força segundo a expressão:

Obs: O raio de atuação do campo de forças, de qualquer natureza, é teoricamente infinito.

Com as cargas elétricas o fenômeno é semelhante: um corpo eletrizado cria um campo elétrico no espaço que o circunda, uma espécie de aura envolvendo a carga elétrica. Cada ponto deste campo é caracterizado por um vetor campo elétrico \vec{E} , análogo ao vetor \vec{g} . Da gravitação. Qualquer carga colocada num desses pontos ficará submetida a uma força elétrica.

Os pontos A1, A2, e A3 etc. pertencem ao campo elétrico criado pelo corpo que possui carga geradora Q. Cada ponto possui um vetor campo elétrico \vec{E} , cujo sentido depende do sinal da carga Q. No caso da figura, como $Q > 0$, o campo elétrico



Campo elétrico criado pela carga $Q > 0$.

⁵² Considerado por nós um bom exemplo.

em cada ponto é de afastamento. A existência do vetor campo elétrico em cada ponto faz com que apareça uma força numa carga de prova q , colocada neste ponto, como acontece no ponto A3.

Devemos, entender que o campo elétrico é na verdade o próprio espaço, totalmente perceptível, podendo ser “visto” com ajuda da chamada cargas de prova. É o campo elétrico (espaço) que desempenha o papel de transmissor das interações elétricas, pois o espaço adquire capacidade de exercer forças elétricas, pela presença da carga geradora.

***Campo Elétrico é toda região em que
uma carga ali colocada
fica sujeita à ação de forças elétricas.***

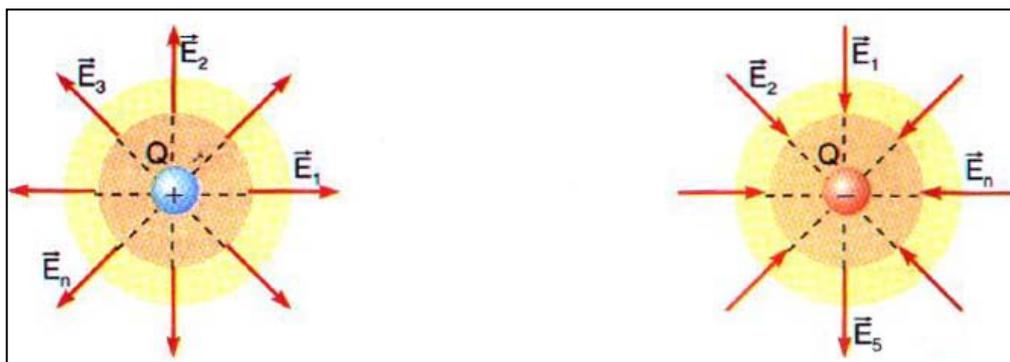
Por analogia com a força gravitacional, podemos escrever:

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

A unidade de campo elétrico é, portanto, N/C.

O SENTIDO DO VETOR CAMPO ELÉTRICO.

Enquanto que a força gravitacional é apenas de atração, a elétrica pode também ser de repulsão. Este fato trás conseqüências diretas no sentido do vetor campo elétrico, que pode apontar para o centro da carga ou no sentido contrário. A figura (a) mostra uma carga geradora positiva Q . Note que o vetor campo elétrico, em cada ponto, tem sentido de afastamento. (Isso não quer dizer que o campo quer expulsar qualquer carga que estiver ali dentro!). A figura (b) mostra uma carga geradora negativa Q . Dependendo do sinal da carga de prova q , a força pode ser de atração ou repulsão.



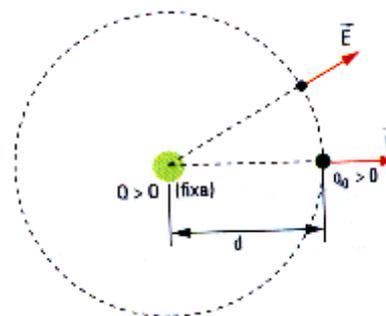
Analisando a expressão $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$, vemos que quando:

$q > 0 \rightarrow \vec{F}$ e \vec{E} têm mesmo sentido

$q < 0 \rightarrow \vec{F}$ e \vec{E} têm sentido contrário

CAMPO ELÉTRICO DE UMA CARGA PUNTIFORME.

Vamos considerar uma carga Q , fixa e isolada, gerando nas suas proximidades um campo elétrico. Num ponto A qualquer deste campo, distando d da carga geradora, coloquemos uma carga de prova q que ficará, assim, sujeita a uma força elétrica \vec{F} . Analisaremos o vetor \vec{E} no ponto A da figura:



Lembrando que a Lei de Coulomb que fornece a força entre duas cargas é dada por:

$$F = \frac{k \cdot Q \cdot q}{d^2} \quad \text{e que podemos escrever} \quad E = \frac{F}{q} \quad \text{e substituindo a primeira na segunda, temos:}$$

$$E = \frac{\frac{k \cdot Q \cdot q}{d^2}}{q} \quad \text{ou} \quad E = \frac{k \cdot Q}{d^2}$$

Obs: A direção de \vec{E} é sempre a mesma de \vec{F} .

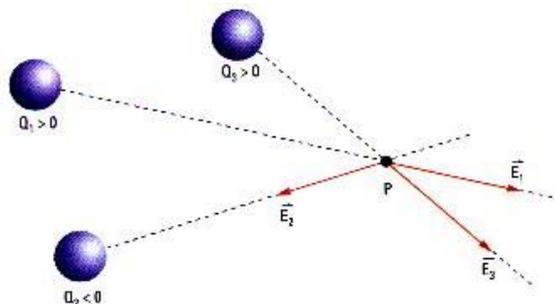
CAMPO ELÉTRICO DEVIDO A VÁRIAS CARGAS PUNTIFORMES.

Assim como a força, a velocidade, a aceleração etc., o campo elétrico possui um caráter vetorial. É importante, você estudante, estar sempre preparado para realizar operações com grandezas vetoriais.

Imagine uma região do espaço onde várias cargas puntiformes fixas estão distribuídas:

Para determinar o vetor campo elétrico resultante num ponto P dessa região, fazemos a adição vetorial dos campos elétricos que cada carga forma individualmente. Assim:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

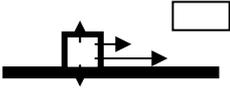
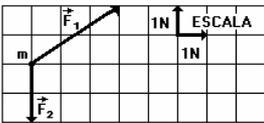


Este é o chamado princípio da superposição.

APÊNDICE B – Tabela com questões do questionário e suas características.

Perguntas	Precursos conceituais envolvidos	Objetivo da(s) pergunta(s)	Tipos de respostas
Como se vê em física?		Relacionar o auto-conceito dos alunos com suas respostas	1 – bom 2 – entre bom e regular 3 – regular 4 – entre regular e ruim 5 – ruim
1) Um bloquinho de gelo a 0°C e com uma massa de 4kg foi lançado numa superfície com uma velocidade de 5m/s. Uma força de 10N foi aplicada sobre o bloquinho fazendo-o reduzir sua velocidade. Faça um desenho ilustrando o bloquinho em movimento e represente todas as grandezas citadas no enunciado (velocidade, força, massa e temperatura).	2	Identificar se o aluno representa grandezas vetoriais por vetores com a orientação fornecida pelo enunciado de um problema de física.	1 – Domina a diferença entre grandezas escalares e vetoriais 2 – Diferencia, mas não representa corretamente as grandezas escalares e vetoriais. 3 – Não reconhece o caráter vetorial das grandezas força e/ou velocidade ou o caráter escalar das grandezas massa e/ou temperatura. 4 – Não conseguiu fazer um esquema (desenho) condizente com o enunciado ou não sabe representar as grandezas corretamente.
2) Um bloquinho preso a uma mola estava em repouso e é puxado passando a se mover para a esquerda, como indica a figura.  a) Represente, na própria figura, todas as forças que agem sobre o bloquinho. b) Quem aplica a força sobre o bloquinho que o faz entrar em movimento?	2(a): 1, 2, 4 e 6 2(b): 4, 5	Averiguar se há idéia de transmissão de forças através da mola e se há domínio na representação das forças sobre um objeto.	2a 1- representa corretamente 2- tem boa noção das forças que atuam, mas não as representa corretamente 3- não sabe representa corretamente/ não respondeu 2b 1- a mola 2- a mão 3- não sabe/ não respondeu
3) Seria possível dois corpos se atraírem ou se repelirem sem que haja um fio ou uma mola ou qualquer outra coisa material interligando-os? Exemplifique.	3	Averiguar se há conhecimento de algum tipo de aplicação de força sem que haja contato físico entre os corpos.	1 - Alguma noção de força à distância e/ou com referência a ímãs ou cargas. 2 – Referência a uma interação por contato, como se fosse à distância 3- Não respondeu/ não forneceu uma explicação clara/ não acredita que possa haver tal situação

Perguntas	Precursores conceituais envolvidos	Objetivo da(s) pergunta(s)	Tipos de respostas
<p>4) A figura abaixo mostra dois ímãs que se atraem.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin: 10px 0;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">M</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">m</div> </div> <p>a) Represente na própria figura a(s) força(s) de atração entre eles.</p>	4(a): 2 e 4	a) Identificar se o aluno consegue representar as forças aplicadas à distância da mesma forma que se faz na aplicação de força por contato.	4(a) 1 - Representa corretamente 2 - Tem boa noção, mas apresenta alguma deficiência na representação, especialmente nos pontos de aplicação das forças. 3- referiu-se à força magnética como força de tração ou qualquer outra força mecânica. 4- Não demonstra perceber a interação entre os dois corpos/ não repr. por vetores/ não respondeu
<p>b) Qual dos dois move-se com maior aceleração? <u>Explique porque.</u></p>	4(b): 5	b) verificar se o aluno domina as Leis de Newton e relaciona corretamente força, massa e aceleração.	4(b) 1 – responde “o menor” justificando-se por ter massa menor 2 - Responde “o menor” utilizando a idéia de forças do módulos diferentes. (o ímã maior aplicando uma força maior no ímã menor) 3 – responde “o menor” mas não justifica/ justificativa incorreta 4- responde “o maior” sobre qualquer justificativa 5- respondeu “os dois”. 6- respondeu errado/ não respondeu
<p>c) Você conhece alguma outra situação em que um corpo é capaz de puxar ou empurrar outro corpo mesmo sem estar em contato com ele?</p>	4(c): 3	c) verificar se após ter sido apresentado a uma situação de força à distância, o aluno é capaz de se referir a outras.	4(c) 1 - Referiu-se a efeitos gravitacionais ou elétricos 2– Exemplificou uma situação com interação por contato, como o vento. 3 – Sugeriu outro exemplo com ímãs. 4 - Não sabe / Não respondeu / Respondeu errado.

Perguntas	Precursores conceituais envolvidos	Objetivo da(s) pergunta(s)	Tipos de respostas
<p>5) Na figura abaixo, calcule a força resultante sobre o bloquinho.</p> 	1,2,4,5 e 6	Verificar se o aluno domina e aplica a soma vetorial num caso específico de cálculo e força resultante.	<p>1- respondeu corretamente 2 – somou o valor da força com o da aceleração. 3 – Multiplicou o valor da força com o da aceleração. 4 – respondeu errado / não respondeu 5 – respondeu corretamente, mas descobrindo a massa e usando a 2ª Lei de Newton</p>
<p>6) Na situação abaixo, vê-se uma partícula de massa m submetida à ação de duas forças. Represente, na própria figura, a força resultante (some das duas forças) sobre esta partícula e expresse seu valor.</p> 	1,2 e 4	Identificar se o aluno domina a operação de soma vetorial.	<p>1 – Utiliza corretamente a soma de vetores pela regra do paralelogramo 2 – Tentativa de utilizar a regra do paralelogramo sem sucesso. 3 – Utiliza a regra do polígono de forma errada (ligando as extremidades dos vetores) 4 – não sabe / não respondeu. 5 – representa a força resultante no lugar correto, mas não indicou seu módulo.</p>

APÊNDICE C – Seqüência didática usada em sala de aula pelo professor

Ao término do estudo das propriedades da carga elétrica, processos de eletrização e da lei de Coulomb, os alunos já sabiam que era possível haver força aplicada à distância. O próximo passo seria discutir como era possível essa interação, onde se introduziu o conceito de campo de forças. Abaixo, seguem-se todos os passos de discussão e exposição de conceitos no estudo de campo de forças, com ênfase em campo elétrico.

1) *Análise do movimento realizado por um objeto preso a um barbante girando numa trajetória circular.*

Objetivo: Discutir que forças agiam sobre este objeto, quem aplicava esta força no objeto e o que aconteceria caso esta força deixasse de existir, como se o barbante se rompesse.

2) *Análise do movimento da Lua em torno da Terra.*

Objetivo: Criar um conflito cognitivo ao discutir porque a Lua não segue em linha reta, já que não há nada material entre os corpos, como acontece no caso do barbante, para se chegar à idéia de campo de forças.

Questionamento por outras situações semelhantes.

Objetivo: Abrir discussão sobre outras situações que envolvem força aplicada à distância.

Descrição dos 3 tipos de campo estudados no ensino médio.

Objetivo: Ressaltar as diferentes formas de ação à distância estudadas no ensino médio, através dos campos elétrico, magnético e gravitacional.

Apresentação da lei de gravitação universal de Newton.

Objetivo: Discutir as semelhanças entre esta lei e a lei de Coulomb

Aprofundamento da descrição do campo gravitacional terrestre.

Objetivo: Descrever as características desse campo, no caso, como um campo gerado por uma massa, que envolve todo o corpo, que ele só pode agir sobre outra massa, que tem sua intensidade diminuindo com a distância, mas com uma ação teoricamente infinita. Este campo pode ser representado por um vetor, que tem a direção radial e aponta sempre para o centro da Terra e a presença dele não implica a existência de força, e que para tal, é necessário que ali seja colocada uma outra massa.

Descrição e cálculo do vetor campo gravitacional

Objetivo: Discutir inicialmente a relação entre força, massa e gravidade, com a demonstração da fórmula do campo gravitacional, como forma de dar suporte cognitivo à apresentação do conceito de campo elétrico mais adiante.

Aprofundamento da descrição do campo elétrico gerado inicialmente por uma carga negativa.

Objetivo: Descrever as características desse campo, no caso, como um campo gerado por uma carga elétrica negativa, que envolve toda a carga, que ele só pode agir sobre outra

carga, que tem sua intensidade diminuindo com a distância, mas com uma ação teoricamente até o infinito. Este campo pode ser representado por um vetor, que tem a direção radial e discutir porque ele aponta também para o centro da carga, como acontece com o campo gravitacional, através da análise do sentido de forças aplicadas sobre cargas de prova positivas e negativas em comparação com o sentido do vetor campo elétrico, sendo que a presença deste campo não implica a existência de força, e que para tal, é necessário que ali seja colocada uma outra carga, a carga de prova e ao final avaliar todas as semelhanças que existem entre esse campo e o campo gravitacional.

Aprofundamento da descrição do campo elétrico gerado inicialmente por uma carga positiva.

Objetivo: Mesmo objetivo do caso anterior.

Descrição e cálculo do vetor campo elétrico.

Objetivo: Discutir inicialmente a relação entre força, carga e campo elétrico, com a demonstração da fórmula do campo elétrico em comparação com o caso do campo gravitacional.

Descrição de um campo elétrico uniforme.

Objetivo: discutir diferenças entre as características de um campo que pode ser gerado por placas paralelas eletrizadas com cargas de mesmo módulo e sinais contrários daquele gerado por uma carga pontual, como a uniformidade, em qualquer ponto no interior de um campo uniforme do valor, da direção e do sentido deste campo, assim como a uniformidade da força aplicada sobre uma carga de prova que ali se encontra.

Resolução de exercícios sobre campo elétrico

Objetivo: Exercitar os conceitos vistos anteriormente de uma forma tradicional, ou seja, resolvendo e discutindo problemas sobre o assunto através de uma lista de exercícios (ver APÊNDICE E).

APÊNDICE D – Questionário usado no início do ano, antes de qualquer instrução formal de campo de forças.

Aluno(a): _____ 2º ano: _____

Idade: _____

Como se vê em física?

Bom

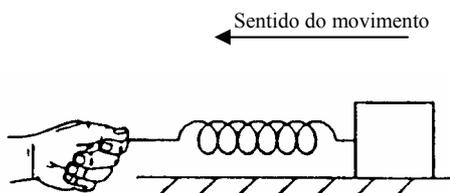
Regular

Ruim



1) Um bloquinho de gelo a 0°C e com uma massa de 4kg foi lançado numa superfície com uma velocidade de 5m/s. Uma força de 10N foi aplicada sobre o bloquinho fazendo-o reduzir sua velocidade. Faça um desenho ilustrando o bloquinho em movimento e represente todas as grandezas citadas no enunciado (velocidade, força, massa e temperatura).

2) Um bloquinho preso a uma mola estava em repouso e é puxado passando a se mover para a esquerda, como indica a figura.



a) Represente, na própria figura, todas as forças que agem sobre o bloquinho.

b) Quem aplica a força sobre o bloquinho que o faz entrar em movimento?

3) Seria possível dois corpos se atraírem ou se repelirem sem que haja um fio ou uma mola ou qualquer outra coisa material interligando-os? **Exemplifique.**

Aluno(a): _____

4) A figura abaixo mostra dois ímãs que se atraem.

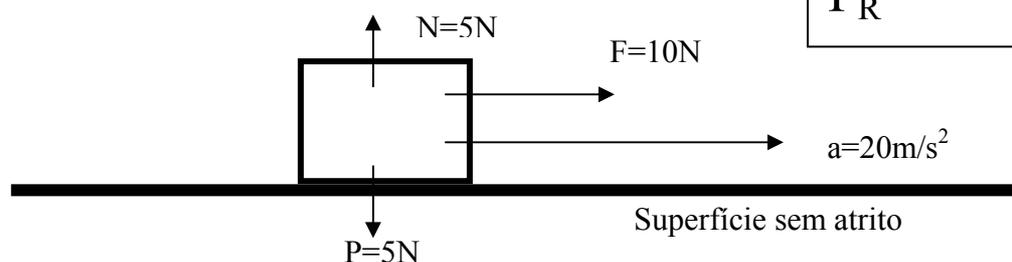
a) Represente na própria figura a(s) força(s) de atração entre eles.



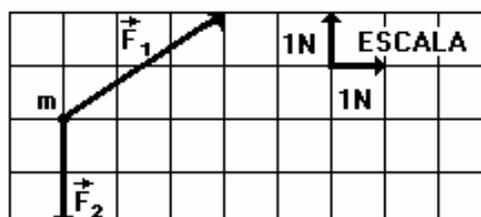
b) Qual dos dois move-se com maior aceleração? **Explique porque.**

c) Você conhece alguma outra situação em que um corpo é capaz de puxar ou empurrar outro corpo mesmo sem estar em contato com ele?

5) Na figura abaixo, calcule a força resultante sobre o bloquinho.



6) Na situação abaixo, vê-se uma partícula de massa m submetida à ação de duas forças. Represente, na própria figura, a força resultante (some das duas forças) sobre esta partícula e expresse seu valor.



APÊNDICE E – Exercícios de campo elétrico usados durante a instrução formal.

Aluno(a): _____

Data: ____ / ____ / ____

01. Num ponto do espaço existe a presença de um campo elétrico representado pelo vetor campo elétrico abaixo de intensidade $2 \cdot 10^3 \text{ N/C}$.

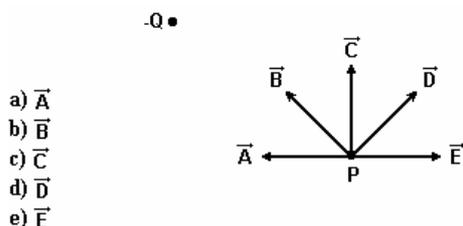


a) Indique três possibilidades de posicionamento de cargas elétricas que tenham gerado este campo representado por este vetor campo elétrico.

b) Se ali for colocada uma carga elétrica, ela ficará submetida a uma força. Qual o sentido desta força?

c) Se a carga ali colocada tem módulo de $5 \mu\text{C}$, qual a força elétrica que atua sobre ela?

02. Na figura adiante, o ponto P está equidistante das cargas fixas $+Q$ e $-Q$. Qual dos vetores indica a direção e o sentido do campo elétrico em P, devido a essas cargas?

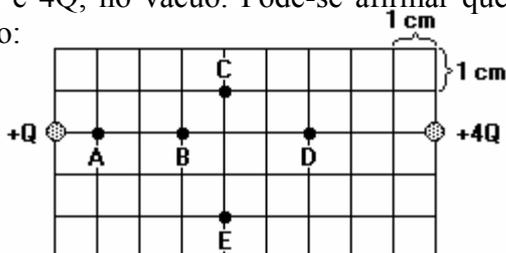


- a) \vec{A}
- b) \vec{B}
- c) \vec{C}
- d) \vec{D}
- e) \vec{E}

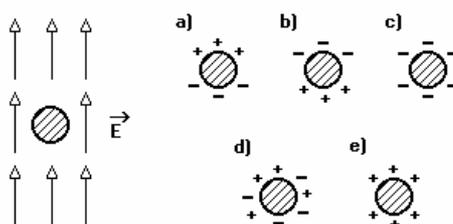
+Q •

03. A figura a seguir mostra como estão distanciadas, entre si, duas cargas elétricas puntiformes, Q e $4Q$, no vácuo. Pode-se afirmar que o módulo do campo elétrico (E) é NULO no ponto:

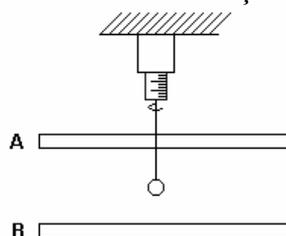
- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E



04. Numa região em que existe um campo eletrostático uniforme, uma pequena esfera condutora descarregada é introduzida. Das configurações, a que melhor representa a distribuição de cargas que aparecerá na superfície da esfera, é:



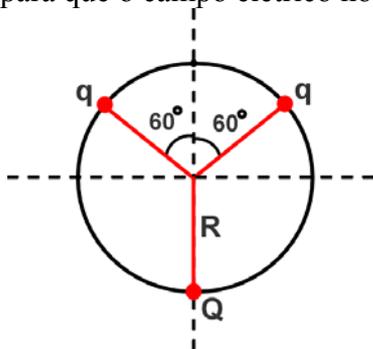
05. Uma bolinha, carregada negativamente, é pendurada em um dinamômetro e colocada entre duas placas paralelas, carregadas com cargas de mesmo módulo, de acordo com a figura a seguir. O orifício por onde passa o fio, que sustenta a bolinha, não altera o campo elétrico entre as placas, cujo módulo é $4 \times 10^6 \text{ N/C}$. O peso da bolinha é 2 N , mas o dinamômetro registra 3 N , quando a bolinha alcança o equilíbrio. Assinale as proposições CORRETAS.



01. A placa A tem carga positiva e a B negativa.
 02. A placa A tem carga negativa e a B positiva.
 04. Ambas as placas têm carga positiva.
 08. O módulo da carga da bolinha é de $0,25 \times 10^{-6} \text{ C}$.
 16. O módulo da carga da bolinha é de $4,0 \times 10^{-6} \text{ C}$.
 32. A bolinha permaneceria em equilíbrio, na mesma posição do caso anterior, se sua carga fosse positiva e de mesmo módulo.

Soma ()

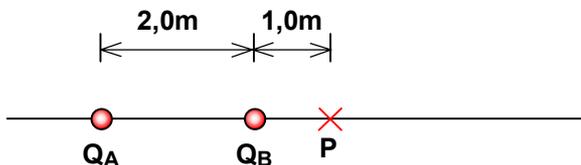
06. (Covest 2001) Três cargas pontuais positivas estão dispostas em posições fixas sobre uma circunferência de raio R , de acordo com a figura. Qual a razão, Q/q , entre as cargas, para que o campo elétrico no centro da circunferência seja nulo?



07. Uma carga elétrica puntiforme com $4,0 \mu\text{C}$, que é colocada em um ponto P do vácuo, fica sujeita a uma força elétrica de intensidade $1,2 \text{ N}$. O campo elétrico nesse ponto P tem intensidade de:

- a) $3,0 \cdot 10^5$ N/C b) $2,4 \cdot 10^5$ N/C c) $1,2 \cdot 10^5$ N/C d) $4,0 \cdot 10^{-6}$ N/C e) $4,8 \cdot 10^{-6}$ N/C

08. (Covest 2000) Duas partículas com cargas $Q_A = +1,0 \text{ nC}$ e $Q_B = +2,0 \text{ nC}$ estão posicionados conforme indica a figura. Determine o módulo do campo elétrico resultante no ponto P, em V/m.



09. A figura 1 representa uma carga elétrica pontual positiva no ponto P e o vetor campo elétrico no ponto 1, devido a essa carga. No ponto 2, a melhor representação para o vetor campo elétrico, devido à mesma carga em P, será:



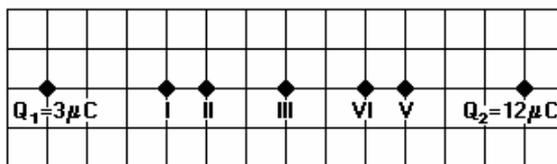
- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

10. Um elétron é acelerado, a partir do repouso, ao longo de 8,8mm, por um campo elétrico constante e uniforme de módulo $E = 1,0 \times 10^5$ V/m. Sabendo-se que a razão carga/massa do elétron vale $e/m = 1,76 \times 10^{11}$ C/kg, calcule:

- a) a aceleração do elétron.
- b) a velocidade final do elétron.

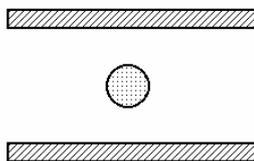
11. Considere duas cargas puntiformes $Q_1 = 3 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 12 \mu\text{C}$, fixas e isoladas de outras cargas, nas posições indicadas na figura a seguir. O módulo do vetor campo elétrico é nulo no ponto

- a) I
- b) II
- c) III
- d) IV
- e) V

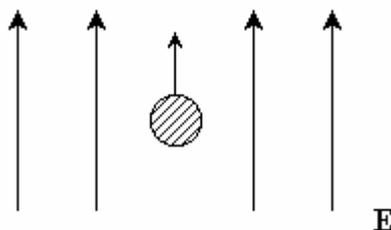


12. Uma gotícula de água, com massa $m=0,80 \times 10^{-9} \text{ kg}$ eletrizada com carga $q=16 \times 10^{-19} \text{ C}$ está em equilíbrio no interior de um capacitor de placas paralelas e horizontais, conforme o esquema a seguir. Nestas circunstâncias, o valor do campo elétrico entre as placas é:

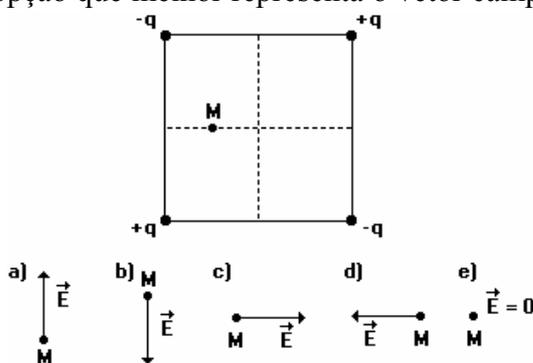
- a) $5 \times 10^9 \text{ N/C}$
 b) $2 \times 10^{-10} \text{ N/C}$
 c) $12,8 \times 10^{-28} \text{ N/C}$
 d) $2 \times 10^{-11} \text{ N/C}$
 e) $5 \times 10^8 \text{ N/C}$



13. Uma gota de óleo de massa $m=1 \text{ mg}$ e carga $q=2 \times 10^{-7} \text{ C}$, é solta em uma região de campo elétrico uniforme E , conforme mostra a figura a seguir. Mesmo sob o efeito da gravidade, a gota move-se para cima, com uma aceleração de 1 m/s^2 . Determine o módulo do campo elétrico, em V/m .

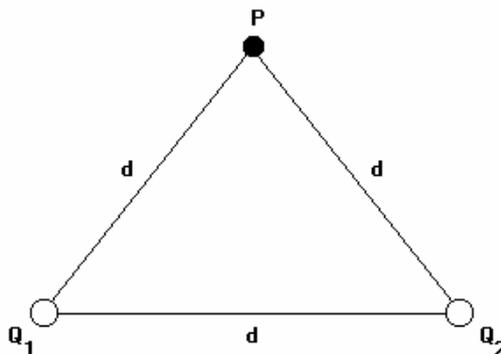


14. Quatro partículas carregadas estão fixas nos vértices de um quadrado. As cargas das partículas têm o mesmo módulo q , mas os seus sinais se alternam conforme é mostrado na figura a seguir. Assinale a opção que melhor representa o vetor campo elétrico no ponto M assinalado na figura.



15. A figura a seguir mostra duas cargas elétricas puntiformes $Q_1=+10^{-6} \text{ C}$ e $Q_2=-10^{-6} \text{ C}$ localizadas nos vértices de um triângulo equilátero de lado $d=0,3 \text{ m}$. O meio é o vácuo, cuja constante eletrostática é $k=9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$. A intensidade do campo elétrico resultantes no ponto P vale:

- a) 10^5 N/C
 b) $\sqrt{3} \cdot 10^5 \text{ N/C}$
 c) $\sqrt{3} \cdot 10^5 \text{ N/C}$
 d) 10^5 N/C
 e) $2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$



APÊNDICE F – Termo de consentimento**Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Programa de Pós-Graduação em Psicologia –
Mestrado e Doutorado****Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

Pelo presente consentimento, declaramos que fomos informados, de forma clara e detalhada, dos objetivos e da justificativa do presente Projeto de Pesquisa, o qual objetiva investigar o processo de conceptualização de um dos conceitos físicos ensinados no ensino médio.

Temos conhecimento de que receberemos resposta a qualquer dúvida sobre os procedimentos e outros assuntos relacionados com essa pesquisa. Também teremos total liberdade para retirar nosso consentimento, a qualquer momento, podendo nos desligar da pesquisa caso nos sintamos violados em quaisquer dos nossos direitos.

Concordamos em participar desse estudo, bem como autorizamos, para fins exclusivamente de pesquisa, a utilização dos dados coletados durante as etapas do ciclo metodológico. Esses protocolos ficarão à disposição da Universidade para outros estudos, sempre respeitando o caráter confidencial das informações registradas e o sigilo de identificação do participante. Os dados serão arquivados na Universidade Federal de Pernambuco, e serão destruídos após decorrido o prazo de (05) cinco anos.

Os pesquisadores responsáveis por esse projeto são Arthur Galamba Fernandes Abreu e Jorge Tarcísio da Rocha Falcão, que poderão ser contatados pelo telefone (81) 9101.7350 ou (81) 2126.8272.

Data: / /

Nome do participante:

Assinatura do participante:

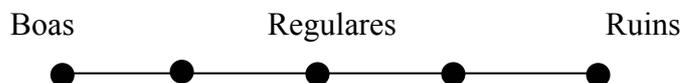
Nome do responsável:

Assinatura do responsável:

APÊNDICE G – Avaliação, usada após a instrução formal de campo de forças.

Aluno(a): _____ 2º ano: _____

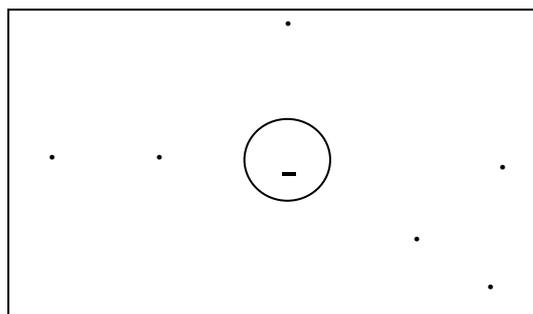
01. a) Como você avalia suas notas em matemática?



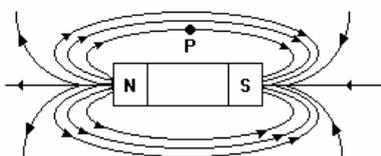
b) Nas últimas duas semanas, quantas aulas de física elétrica você faltou (aproximadamente)?

c) Que nota, de zero a dez, você se daria em dedicação e preparação para essa avaliação?

02. Ao lado vemos uma partícula eletrizada negativamente e isolada de qualquer outra carga elétrica. Represente o vetor campo elétrico gerado por esta carga em **cada um dos pontos** indicados abaixo.

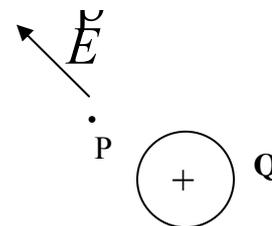


03. Ao lado temos a representação de um ímã. Todos os ímãs possuem dois pólos magnéticos: um pólo norte e um pólo sul. Quando dois ímãs são aproximados, eles podem se atrair ou se repelir, pois dois pólos de mesmo nome se repelem e pólos de nomes diferentes, se atraem. Se uma **carga elétrica negativa** é abandonada do repouso no ponto **P**, o que acontece com ela? Descarte qualquer efeito gravitacional.



04. Num ponto **P** situado a 30cm de uma carga elétrica pontual existe um campo elétrico de intensidade $2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$, representado pelo vetor da figura ao lado. ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$)

a) Qual a intensidade da força elétrica que atuaria sobre uma carga de prova **q** de $3 \mu\text{C}$ colocada naquele ponto?



b) A presença da carga de prova em **P** interfere no valor do campo gerado pela carga **Q** em **P**?

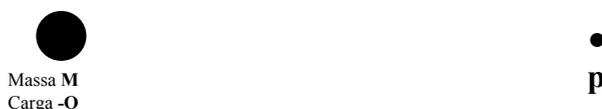
c) Com a carga de prova em **P**, a carga geradora **Q** fica submetida à ação de alguma força? Se sim, de que intensidade?

05. Da mesma forma que a Terra, qualquer corpo que possua massa gera um campo gravitacional em torno de si. Sendo assim, uma partícula metálica de **massa M** e eletrizada com **carga Q** gera dois campos de força em torno de si: Um gravitacional e um elétrico. A figura abaixo mostra essa esfera com massa **M** eletrizada negativamente com carga **-Q**.

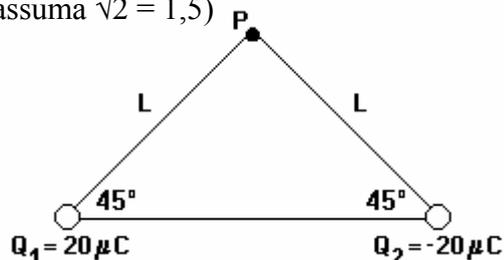
a) Represente no ponto **P** os campos gravitacional e elétrico gerados por essa esfera.



b) No ponto **P** é colocada uma outra esfera com massa **m** e carga também negativa **-q**. Represente (na figura abaixo) esta partícula e as forças de natureza elétrica e gravitacional atuando sobre ela.

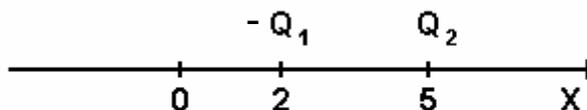


06. A figura mostra um triângulo isósceles com o ângulo da base igual a 45° . Represente os vetores campo elétrico das cargas 1 e 2 no ponto **P** e calcule o módulo do campo resultante. (Dados: $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$; $L = 1 \text{ m}$; assumo $\sqrt{2} = 1,5$)



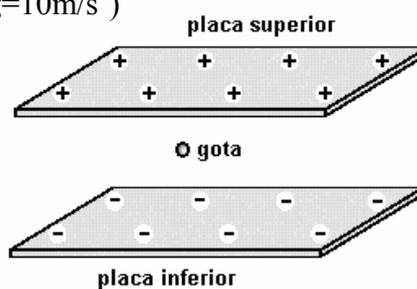
07. Sobre o eixo x (x em metros) são fixadas duas cargas puntiformes, sendo uma positiva e outra negativa, $Q_1 = -2 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 8 \mu\text{C}$, nos pontos de abscissas 2 m e 5 m , respectivamente, como representado no esquema adiante.

Calcule o módulo do vetor campo elétrico resultante no ponto de abscissa 8 m .



08. Uma gota de óleo de 6 mg e eletrizada com carga $q = -10 \mu\text{C}$ encontra-se em repouso no interior de um **campo elétrico uniforme**. (adote $g = 10 \text{ m/s}^2$)

a) Qual o valor do campo elétrico entre as placas?



b) Caso a gota se aproximasse da placa negativa, ela ficaria submetida a uma força elétrica maior, menor ou de mesma intensidade? **Justifique.**

APÊNDICE H – Primeiro questionário utilizado com os alunos

Aluno(a): _____

Idade: _____

Como se vê em física? Bom Regular Ruim

1) Dentre as seguintes grandezas físicas: massa, velocidade, força, aceleração e deslocamento, quais são consideradas grandezas escalares e quais são consideradas vetoriais?

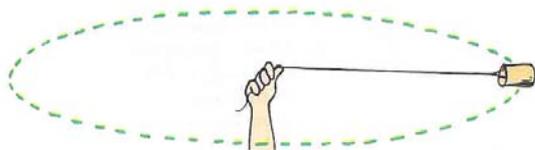
Escalar(es):

Vetorial(ais):

2) Um barbante preso a um objeto gira com velocidade constante em módulo como mostrado na figura abaixo. Qual o nome da força que mantém o objeto numa trajetória circular?

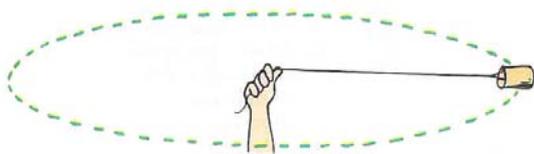
Quem aplica esta força sobre este objeto?

Faça um desenho na própria figura da força aplicada sobre o objeto e do vetor velocidade.

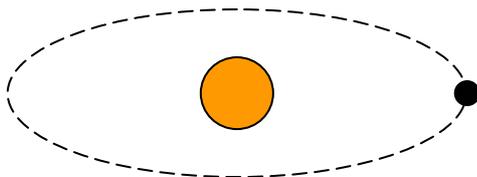


3) Caso o barbante se rompesse, qual a trajetória que o objeto seguiria?

Que Lei da física explica esse fenômeno? Desenhe na própria figura como seria esta trajetória.



4) A figura abaixo mostra a Terra girando em torno do Sol. Por que a Terra permanece em numa trajetória circular se, por inércia, ela tenderia a seguir em linha reta?

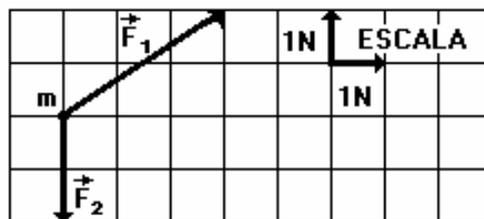


5) Faça um desenho na própria figura da força atuando sobre a Terra e diga quem ou o que está aplicando esta força na Terra.

6) Como é possível a interação entre dois corpos se eles não estão em contato entre si?

7) Você conhece alguma outra situação em que um corpo é capaz de puxar ou empurrar outro corpo mesmo sem estar em contato com ele? Exemplifique.

8) Na situação abaixo, vê-se uma partícula de massa m submetida à ação de duas forças. Represente, na própria figura, a força resultante (soma das duas forças) sobre esta partícula e expresse seu valor.



APÊNDICE I – Segundo questionário utilizado com os alunos.

Aluno(a): _____

Idade: _____

Como se vê em física? Bom Regular Ruim

1) Dentre as seguintes grandezas físicas: massa, velocidade, força, aceleração e deslocamento, quais são consideradas grandezas escalares e quais são consideradas vetoriais?

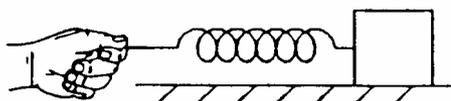
Escalar(es):

Vetorial(ais):

2) Um objeto preso a uma mola move-se como indica a figura.

Quem aplica esta força sobre este objeto?

Represente, na própria figura, todas as forças que agem sobre o objeto.



3) A figura abaixo mostra dois ímãs que se atraem.

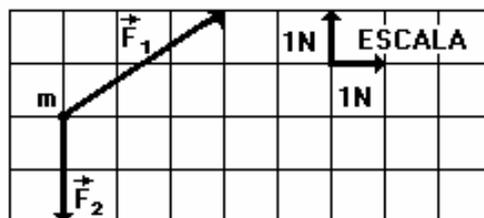
Representa na própria figura a força de atração entre eles.



4) Como é possível a interação entre dois corpos se eles não estão em contato entre si?

5) Você conhece alguma outra situação em que um corpo é capaz de puxar ou empurrar outro corpo mesmo sem estar em contato com ele? Exemplifique.

6) Na situação abaixo, vê-se uma partícula de massa m submetida à ação de duas forças. Represente, na própria figura, a força resultante (soma das duas forças) sobre esta partícula e expresse seu valor.



APÊNDICE J – Terceiro questionário utilizado com os alunos.

Aluno(a): _____

Idade: _____

Como se vê em física? Bom Regular Ruim

1) Dentre as seguintes grandezas físicas: massa, velocidade, força, aceleração e deslocamento, quais são consideradas grandezas escalares e quais são consideradas vetoriais?

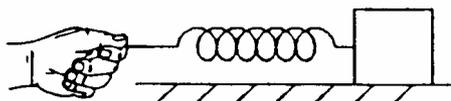
Escalar(es):

Vetorial(ais):

2) Um objeto preso a uma mola move-se como indica a figura.

Quem aplica esta força sobre este objeto?

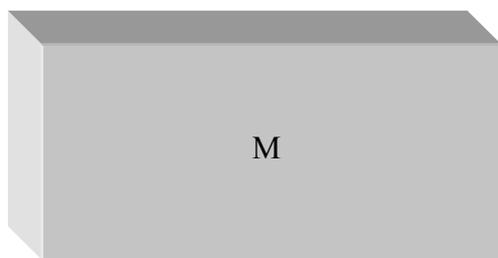
Represente, na própria figura, todas as forças que agem sobre os corpos.



3) Seria possível dois corpos se atraírem ou se repelirem sem que haja um fio ou uma mola interligando-os? Exemplifique.

4) A figura abaixo mostra dois ímãs que se atraem.

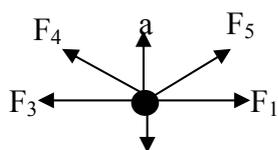
Representa na própria figura a força de atração entre eles.



5) Qual dos dois move-se com maior aceleração?

6) Você conhece alguma outra situação em que um corpo é capaz de puxar ou empurrar outro corpo mesmo sem estar em contato com ele?

7) Na figura abaixo, tem-se um corpo com várias forças atuando sobre ele, além do vetor aceleração. Represente no próprio corpo a força resultante que atua sobre o corpo.



8) Na situação abaixo, vê-se uma partícula de massa m submetida à ação de duas forças. Represente, na própria figura, a força resultante (some das duas forças) sobre esta partícula e expresse seu valor.

