

GENTE COMO CARGA E AULA COMO CAMPO

Andr ea M.M. Menezes, Eliana Lopes, Manoel Roberto Robilotta
Instituto de Física, Universidade de São Paulo

O conceito de campo, seja ele elétrico ou gravitacional, foi criado para explicar as intera es   distância e tem papel central na física contemporânea. Cursos de ciências exatas permitem, em geral, que um aluno entre em contato com este conceito durante o estudo de diversos t picos da física, tais como mecânica clássica ou quântica, eletromagnetismo, física nuclear e outros. Na enorme maioria dos casos, os campos estudados em cursos de gradua o satisfazem equa es lineares e obedecem, portanto, ao princípio da superposi o. Algumas das implica es desse fato não são triviais e, muitas vezes, os alunos têm dificuldade em compreendê-las. Este trabalho aborda algumas dessas propriedades de campos lineares e sugere que a explicita o de certos pontos críticos pode melhorar esta situa o. Na presente discussão tratamos predominantemente do caso do campo elétrico, mas ela também   válida para os demais campos lineares.

Na eletrostática, o conceito de campo distingue as "capacidades" que a carga elétrica tem de criar e sentir forças. Por exemplo, a intera o de duas cargas puntiformes q e q' em repouso no vácuo, separadas pela distância r ,   descrita pela lei de Coulomb, cuja expressão matemática  

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2} \vec{r}$$

A decomposi o dessa força em

$$\vec{F} = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{r} \right) \times (q')$$

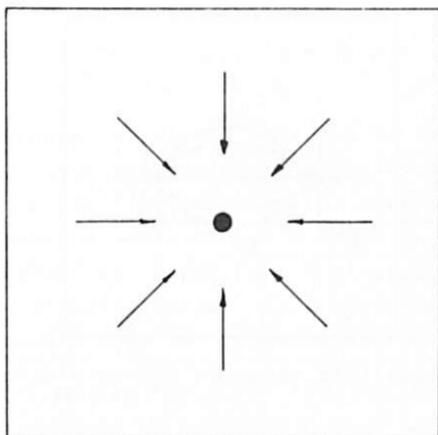
evidencia a possibilidade de compreendê-la como sendo composta de dois termos. Nessa expressão, o primeiro representa a "capacidade" que a carga q tem de criar força no ponto onde está q' , e o outro, a que q' tem de sentir essa força.

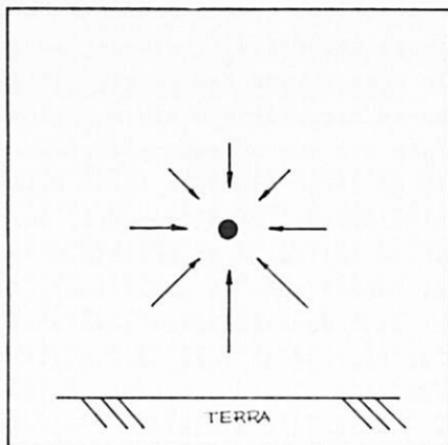
O conceito de campo elétrico caracteriza, assim, a "capacidade" que uma carga tem de criar forças como sendo uma propriedade intrínseca a ela, e que se estende a todos os pontos do espaço. A visão de mundo associada a este conceito corresponde   idéia de que mesmo uma carga isolada   capaz de dotar todos os pontos do espaço de uma propriedade latente. Este aspecto do con

conceito de campo elétrico, quando devidamente discutido com os alunos, não apresenta grandes dificuldades em ser compreendido.

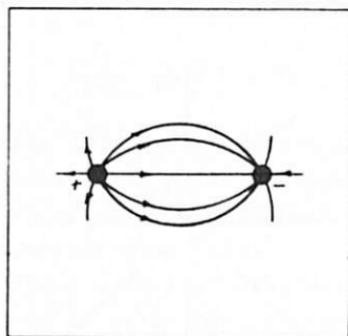
A situação é mais complexa no caso em que temos muitas cargas, pois torna-se necessário o uso do princípio da superposição. Esse princípio diz que o campo elétrico criado por um sistema de cargas, em um certo ponto, é igual à soma vetorial dos campos criados pelas cargas, separadamente, neste ponto. Os problemas encontrados na aplicação do princípio da superposição ocorrem tanto no nível formal como no conceitual. No primeiro, eles se devem à sofisticação da matemática envolvida, principalmente no que se refere ao emprego de integrais múltiplas. É no nível conceitual, contudo, que os alunos encontram as maiores dificuldades pois, ainda que cheguem a dominar o formalismo, raramente percebem que por trás do princípio da superposição está a idéia de que o campo elétrico criado por uma carga não é alterável pela presença de outras.

Interpretações incorretas do princípio da superposição ocorrem, por exemplo, quando se considera o campo gravitacional de corpos na superfície da Terra. A maioria dos estudantes reconhece que o campo gravitacional de um corpo pequeno e isolado é esfericamente simétrico. Eles ficam em dúvida, entretanto, se esta simetria persiste quando esse corpo está próximo à superfície da Terra. Alguns dos alunos chegam mesmo a afirmar que o campo da Terra, de algum modo, atrai o campo do corpo, fazendo com que ele seja mais intenso para baixo. Essas situações estão esquematizadas nas seguintes figuras:



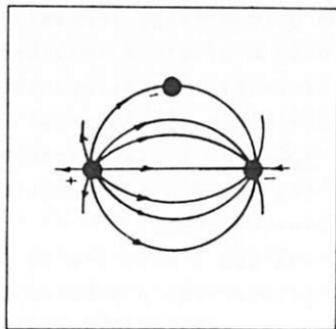


Este exemplo sugere que existe uma dificuldade em se entender a idéia de independência dos campos, que constitui a essência do princípio da superposição. Essa dificuldade, que também ocorre no caso do campo elétrico, pode ser a manifestação de uma física "espontânea" que os alunos tem incorporada. Alternativamente, ela pode também ser devida à própria atividade didática desenvolvida em um curso tradicional. É comum, por exemplo, apresentarmos o campo elétrico de um dipolo como no desenho abaixo:

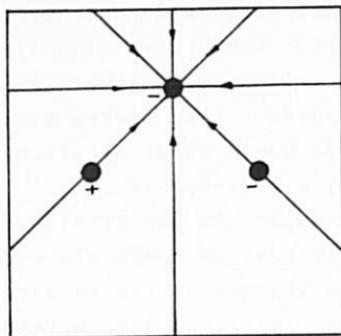


Esta figura corresponde à superposição de dois campos esfericamente simétricos. Essa mesma figura entretanto, induz à idéia de que o campo criado por uma das cargas pode ser modificado pela presença da outra. Isso ocorre porque ela também dá margem à interpretação de que a carga negativa "entorta" as linhas de campo da positiva, e vice-versa.

Uma outra situação, em que os alunos são induzidos a se "esquecer" das propriedades do campo elétrico, ocorre quando se estuda a interação do sistema da figura anterior com uma terceira carga. A discussão deste problema é feita, em geral, representando-se o sistema do seguinte modo:



Nesta figura, as linhas de campo da terceira carga não são desenhadas, o que se justifica porque isso pode não interessar ao problema específico. É possível, entretanto, que este procedimento induza à idéia de que o campo de uma carga de prova pode ser "desligado" ou, ainda, que a situação dada inibe a criação do campo da terceira carga. Esta mesma interação entre a carga e o dipolo também pode ser representada pela figura abaixo, onde o campo do dipolo parece ter sido desligado ou inibido.



Assim, o costume de somente desenharmos a parte do campo relevante a um dado problema sugere que cargas podem influenciar os campos de outras. Dependendo do caso, as cargas parecem se comportar como ativas ou passivas, tornando difícil a percepção de que isto só é verdade a nível da resolução de problemas, e não ao da realidade da natureza. Esse tratamento ambíguo das cargas elétricas pode, provavelmente, ser uma das causas da dificuldade que os alunos têm de aprender o significado completo do princípio da superposição, uma vez que o seu conteúdo não é adequadamente representado pelos desenhos.

Uma situação análoga a essa é a de um certo professor do IFUSP, que costumava brincar com a dona do bar da escola, pedindo três cafés e mostrando a ela dois dedos. O número de cafezinhos variava dependendo da ocasião, pois ela não percebia a incoerência das duas informações, optando aleatoriamente por uma delas.

As discussões precedentes mostram que a abordagem didática do princípio da superposição não leva os estudantes a ganhar familiaridade com a idéia de independência dos campos elétricos. Este tipo de falha poderia ser atenuado se, juntamente com a exposição destes conceitos, fossem colocados exemplos críticos próximos à realidade do aluno, usando situações que os envolvam diretamente. Para tanto, é conveniente o uso da própria sala de aula, como discutiremos a seguir.

A interação em classe, entre alunos e professores, pode ser entendida como sendo mediada pela aula, do mesmo modo que interações entre cargas elétricas são devidas ao campo elétrico. A aula criada pelo professor preenche todo o espaço da classe com determinadas informações, que chegam tanto aos alunos presentes co

mo aos pontos onde não haja ninguém, mesmo às cadeiras vazias. Em outras palavras, a aula existe na classe toda. Algo similar ocorre com o campo elétrico, já que uma carga modifica todo o espaço que a cerca, dotando-o de propriedades específicas. Deste modo, o campo também existe em todos os pontos, naqueles em que há carga e mesmo no espaço livre. É importante notar que esta analogia não é total, pois na aula a informação flui, enquanto que o mesmo não ocorre com o campo. Na verdade, a aula seria mais similar à luz (ver artigo "Um Pouco de Luz na Lei de Gauss", C. Goldman, E. Lopes, M.R. Robilotta, Rev. Ens. Física, vol. 3, nº 3, pág. 3, 1981).

Questão: Cada aluno aproveita de maneira diferente a aula dada pelo professor. Qual seria o análogo eletrostático desse fato?

Um outro aspecto desta comparação que pode ser abordado, refere-se ao caso de uma classe com muitos alunos, onde a aula não se altera se uma ou duas pessoas entram ou saem da sala no seu decorrer. Do mesmo modo, o campo criado por uma carga elétrica não é modificado pela variação do número de cargas espectadoras, ou de prova. Também essas duas situações não são totalmente análogas, pois o caráter humano da interação em aula ficará evidente se metade dos alunos se retirarem da sala, uma vez que ela é influenciável pela presença de espectadores. No caso de cargas elétricas, isto não ocorre.

Questão: O que aconteceria no caso da aula ser dada por circuito fechado de televisão?

A aula é o resultado da interação do professor com o conjunto dos alunos, não sendo equivalente à somatória das interações individuais, já que o relacionamento de cada aluno com o professor é modificado por se dar em presença de outras pessoas. A classe, por exemplo, inibe as interações individuais de seus elementos com o professor, eliminando grande parte da espontaneidade e descontração possíveis em interações isoladas. Deste modo, um aluno sozinho não é o mesmo quando em presença do grupo. Comportamentos deste tipo são caracteristicamente humanos e não se manifestam em cargas elétricas, cuja "capacidade" de criar e sentir campo não é passível de ser alterada por "testemunhas". É justamente por isso que na eletrostática vale o princípio da superposição. A discussão dessa não equivalência aula-campo e gen

te-carga também pode ajudar a melhor compreensão dos conceitos.

Os múltiplos aspectos da diferença entre os comportamentos de pessoas e cargas podem ser aprofundados pelo professor em sala de aula. Por exemplo, ele pode mostrar que a interação aluno-professor inibe a interação aluno-aluno, pois a aula deve prender a atenção dos estudantes. Por outro lado, uma conversa entre dois alunos desvia, necessariamente, a atenção da aula. Esse controle da atenção é uma característica de seres vivos. Já cargas elétricas não podem "prestar atenção" ou "se distrair". Assim sendo, elas interagem o tempo todo com todas as demais cargas de um sistema.

Uma outra situação a ser discutida é a de uma aula expositiva, onde o professor, por ter o papel principal, pode ser visto como uma carga que cria campo elétrico enquanto que os alunos, por não preencherem o espaço da classe com suas informações podem ser considerados como carga de prova. Quando a aula envolve trabalho em grupo, os alunos passam a ser análogos a cargas que criam campos, cabendo ao professor o papel de carga de prova. Deste modo, o comportamento mais ou menos ativo do professor pode ser comparado ao problema das três cargas, discutido anteriormente. Na primeira parte daquele exemplo, quando a terceira carga sentia o campo do dipolo, ela parecia "ficar em silêncio", apenas "ouvindo", o campo das demais. Na segunda parte, só ela "falava". Interações orais entre seres humanos caracterizam um diálogo. Já cargas elétricas não "dialogam", pois elas conseguem "falar" e "ouvir" simultaneamente.

Questão: *Quais são as limitações das afirmações acima?*

Neste trabalho foi sugerido que uma atividade em classe, que levasse alunos e professores a se colocarem na posição de cargas elétricas, poderia permitir que as características fundamentais do princípio da superposição fossem adequadamente compreendidas. Argumentamos também que a própria atividade didática é parcialmente responsável pela dificuldade de apreensão desse conceito. Existem ainda outros fatores que podem ser considerados. Por exemplo, acreditamos ser possível que as interações humanas, por estarem próximas à vivência dos alunos, sejam inconscientemente transferidas para as das cargas elétricas. Essa transposição pode, inclusive, ser reforçada pelo uso das palavras criar e sentir no contexto da eletrostática.

Não propomos aqui, evidentemente, que se deva suprimir

os exercícios usuais dos diversos cursos e nem mesmo abolir o uso das palavras criar e sentir. O que achamos necessário é que o professor alerte os estudantes de que o campo elétrico de uma carga depende dela e só dela, sendo seu comportamento diferente do de seres humanos. A simples explicitação dessa diferença pode ser suficiente para que a visão de mundo associada ao princípio da superposição seja melhor compreendida. A comparação proposta entre os comportamentos humano e de cargas elétricas é uma alternativa à mão do professor que pode ser útil na eliminação desse tipo de dificuldade e suas conseqüências.