

CONCEITOS DE FÍSICA BÁSICA EM TURMAS DE DISCIPLINAS DE TERCEIRO ANO UNIVERSITÁRIO: ANÁLISE E PERSPECTIVAS*

Paulo de Tarso Cavalcante Freire^a [tarso@fisica.ufc.br]
Henrique Bezerra Cardoso^a [henriquebez@hotmail.com]

^a Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará

INTRODUÇÃO

As pesquisas na área do ensino de física no Brasil encontram-se em fase de consolidação (Moreira, 2000). Embora o Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, até o momento, ainda não tenha de forma sistemática se aprofundado neste assunto, já reconhecíamos a necessidade de reavaliar nossas grades curriculares (bacharelado e licenciatura). Desde o segundo semestre de 2000 o Departamento de Física, através de suas Unidades Curriculares, vem se reunindo periodicamente com o objetivo de discutir a grade curricular do curso, bem como o estudo de propostas de mudanças nos conteúdos programáticos. Essa discussão abrange todas as disciplinas da física, incluindo as que são ministradas nos cursos de Engenharia, da Agronomia, da Matemática e da Química.

Algumas pesquisas em ensino de física realizadas nas três últimas décadas, principalmente nos Estados Unidos, mostram alguns fatos importantíssimos (McDermott, 1993): (i) saber resolver problemas padrões não significa que o estudante tenha adquirido um entendimento de física que lhe permita aplicar satisfatoriamente conceitos físicos em situações não abordadas previamente. Um exemplo clássico relacionado a esta questão é o de um circuito elétrico simples (Shaffer e McDermott, 1992) possuindo ou uma única lâmpada, ou duas lâmpadas em série, ou duas lâmpadas em paralelo, pede-se ao estudante que diga a ordem de intensidade apresentada por elas, bem como o raciocínio que o levou a tal conclusão. Essas pesquisas mostraram que apenas uma percentagem muito pequena de estudantes conseguiu resolver corretamente a questão, apesar de saberem resolver problemas muito mais complicados usando a lei de Ohm e as leis das malhas; (ii) os estudantes possuem grandes dificuldades em relacionar conceitos em um arcabouço teórico coerente, o que implica que há a necessidade de se procurar maneiras de ajudá-los no processo de criação de modelos qualitativos; (iii) há dificuldades conceituais que não podem ser superadas apenas pelo ensino tradicional (ensino tradicional entendido como aula expositiva em sala, aula prescritiva de laboratório e problemas padrões cobrados em listas de exercícios e/ou exames de verificação); (iv) saber manusear representações algébricas e gráficas de grandezas e situações físicas não implica que os estudantes possam conectar os teoremas com a realidade física, bem como não significa que os conceitos estejam disponíveis para serem utilizados em outras situações.

Para que as discussões no Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará se tornassem mais proveitosas e para que alguns dos aspectos levantados no parágrafo anterior fossem verificados, vimos a necessidade de procurar um referencial teórico no qual pudéssemos desenvolver uma metodologia de trabalho em que um questionário anteriormente criado pudesse nos ajudar na avaliação da nossa forma de ensino. Tomamos como referencial teórico para analisar

os dados que vínhamos obtendo há algum tempo, o artigo de Neves e Savi (2000) onde se discute a sobrevivência das respostas alternativas dos estudantes (concepções espontâneas), em contraposição às respostas do tipo ensino formal ou Galileu-Newtoniano, encontradas nos livros textos ou nos manuais de física .

O questionário foi aplicado, em princípio, a estudantes que estavam iniciando a disciplina de Física Moderna. Os primeiros questionários começaram a ser aplicados ainda no primeiro semestre do ano de 1997 em estudantes de engenharia. Em cima destes primeiros resultados achamos também interessante estender os questionários para turmas de alunos que já haviam concluído a disciplina, bem como turmas de estudantes dos cursos de Física, de Química e de Matemática. O questionário contou com perguntas nas quais o aluno deveria dissertar sobre os seguintes temas: mecânica (Leis de Newton), eletricidade e magnetismo (Equações de Maxwell), termodinâmica (Leis da Termodinâmica). Para avaliação das respostas também utilizamo-nos da classificação proposta por Neves & Savi (2000).

Essa primeira etapa do trabalho nos propiciou oportunidades de avaliar nossa atual proposta pedagógica quando, procurando meios de intervenção junto aos professores das disciplinas ministradas pelo Departamento de Física, podíamos criar subsídios para melhoria do ensino ministrado pelo Departamento.

Como o objetivo dessa pesquisa visa a melhoria do ensino da graduação, ele também nos levou a refletir sobre o uso de outras propostas e reflexões pedagógicas como as de Piaget (construtivista), e as de Freire (teoria da ação dialógica), uma vez que valorizam o aluno construindo novos conhecimentos a partir do que ele já sabe e acreditando no seu potencial de "poder saber" conteúdos que ainda não estudou.

REFERENCIAL TEÓRICO

Vários resultados de pesquisas em ensino de física têm apontado para o fato de que o ensino tradicional pouco tem ajudado para a aquisição de conceitos básicos, necessários para o aprendizado de amplos conceitos de física. Talim (1991) afirma que os resultados obtidos com o ensino convencional pode estar relacionado à limitada experiência do aluno em vivenciar temas da física relacionado ao seu cotidiano. Nós também entendemos que as concepções trazidas pelos alunos antes da instrução acadêmica, têm limitado suas novas experiências. Associando isto ao ensino convencional de física, os alunos apresentam forte resistência a uma mudança conceitual, aqui entendida como a capacidade que o aluno tem de adquirir novos conceitos ou ampliar conceitos já apreendidos.

Determinadas concepções sobre conteúdos de física que são trabalhados no ensino médio permanecem, mesmo depois de dois anos de estudos básico na graduação, supostamente inalterados em boa parte dos estudantes. A sobrevivência às respostas alternativas em contraposição as respostas baseadas nos manuais ou livros textos (Galileu-Newtoniano ou convencional) apresentam invariâncias culturais e apresenta maior predominância no padrão de respostas dos estudantes (Neves & Savi, 2000).

Os resultados acima nos levam a refletir sobre a busca de uma proposta pedagógica alternativa ao modelo de ensino vigente. É possível ensinarmos física seguindo os modos normais (tradicional estímulo-resposta) de forma satisfatória, ou seja, com um maior número de alunos obtendo um melhor desempenho? As pesquisas em ensino baseadas na psicologia de Piaget indicam caminhos que não confirmam este tipo de ensino. Muitos dos alunos observados (acima de

50 %) ainda não possuem as habilidades de raciocínio lógico abstrato desenvolvidas para construção dos conceitos envolvido na disciplina. É preciso um desenvolvimento conceitual em estágios na forma de um espiral onde os mesmos conceitos, em nível crescente de complexidade, são passados aos estudantes permitindo assim que o refinamento dos conceitos se processe de forma a obedecer ao desenvolvimento de seus processos cognitivos (McDermott, 1991; Arons, 1997).

O QUESTIONÁRIO

O questionário foi composto de perguntas que versavam sobre os temas centrais da física clássica, englobando as leis da mecânica, do eletromagnetismo e da termodinâmica. Mais especificamente pedia para que o estudante discorresse sobre os seguintes assuntos: as leis de Newton, as equações do eletromagnetismo e as leis da termodinâmica. Muitos questionários semelhantes utilizam-se de questões mais específicas, como aquelas encontradas em Neves & Savi (2000) e McDermoth (1991). Preferimos, entretanto, utilizar questões mais gerais para, com base neste resultado, preencher eventuais lacunas de conceitos gerais nas primeiras aulas do curso de Física Moderna. Em outras palavras, a partir da análise das respostas faríamos uma revisão calcada nas principais deficiências, se houvesse, da(s) turma(s). Os resultados, como serão discutidos adiante, foram surpreendentemente negativos.

Para avaliar e classificar as respostas do questionário utilizamos a classificação proposta no trabalho de Neves & Savi (2000). Assim, as respostas foram agrupadas em três categorias: (i) convencionais, que correspondiam àquelas onde a idéia geral estava correta, pelo menos nos moldes fornecidos nos livros-textos; (ii) alternativas, onde o aluno respondia de uma forma não correta, mas tendo uma certa lógica, ou então, misturando leis e introduzindo idéias completamente fora do contexto da ciência física; (iii) ambíguas, que não correspondiam às discussões esperadas mas que também pela não clareza da exposição não permitia que se inferisse exatamente o quanto o aluno conhecia do assunto. Vale acrescentar que na primeira categoria não era exigido para o enquadramento da resposta nenhuma discussão mais profunda acerca das idéias envolvidas. Por exemplo, quando se discute as leis de Newton diz-se que uma partícula move-se em linha reta a velocidade constante se nenhuma força sobre ela atua. Não estávamos preocupados se o aluno iria ou não questionar o significado de uma linha reta. Esta, de fato, é uma questão muito complexa e as próprias definições de força e massa através das leis de Newton podem ensejar bastante discussão (Chibeli, 1999). Na prática, imaginemos um lago congelado tão grande que a curvatura da Terra seja não desprezível frente a suas dimensões (Born, 1969). Uma partícula movimentando-se sobre este lago (desprezando o atrito e a resistência do ar) jamais se movimentará em linha reta, mas sim num grande círculo do globo.

Fazemos neste parágrafo algumas considerações sobre as respostas dos estudantes à respeito das leis da mecânica. Muitos alunos não responderam algumas das três questões levantadas no questionário. Quando apenas uma única questão era respondida, essa era sobre as leis de Newton, muitas vezes pouco claras, outras demonstrando uma visão parcial do conhecimento. É possível que este conhecimento, mesmo restrito, tenha sido adquirido no ensino médio, uma vez que os alunos entram em contato com a mecânica ainda no primeiro ano daquele curso. (É bem verdade que também, geralmente, faz parte do curriculum do ensino médio conceitos de corrente e circuitos elétricos, bem como de calor e temperatura, mas as equações de Maxwell, bem como as leis da termodinâmica não são apresentadas aos discentes). Como exemplo de uma resposta convencional para as leis de Newton obtivemos os seguintes resultados:

- (1) 1ª lei de Newton: lei da inércia - na ausência de força externa, um corpo que se encontre em movimento com velocidade constante, em relação a um dado referencial, tende a permanecer assim infinitamente; caso se encontre em repouso, assim permanecerá na ausência de forças externas;
- (2) 2ª lei: A força total \mathbf{F}_t sobre um corpo de massa m está relacionada com a aceleração do corpo \mathbf{a} pela relação $\mathbf{F}_t = m \mathbf{a}$.

Como exemplos de respostas ambíguas temos:

- (3) 1ª lei: Todo corpo tende a manter seu estado de repouso ou movimento uniforme caso não seja aplicado força sobre ele;
- (4) 2ª lei: $F = \sum m_i a$;
- (5) 3ª lei: toda ação corresponde uma reação de mesmo módulo e sentido oposto.

No caso das respostas alternativas observamos que, de uma maneira geral, uma mistura de vários conceitos era feita pelos estudantes. Isto pode significar que embora eles tenham realmente visto o assunto, tendo lido o livro-texto, assistido às aulas expositivas e resolvido alguns problemas propostos, os conceitos não foram compreendidos de uma forma adequada. Como respostas alternativas, dentre várias obtidas, podemos citar as seguintes:

- (6) 1ª lei: Todo corpo em movimento constante manterá o movimento enquanto não for alterada a sua velocidade;
- (7) 2ª lei: A força aplicada a um corpo de massa m e aceleração a é dada por $F = m.a$;
- (8) 3ª lei: Todo corpo que sofre a atuação de uma força reage a tal força com mesma intensidade e sentido oposto.

O entendimento dos estudantes acerca das leis do eletromagnetismo mereceria um estudo à parte. Os resultados mostraram um baixíssimo percentual de respostas corretas (convencionais). Para uma determinada resposta ser considerada convencional não era necessário que o estudante discorresse mais profundamente sobre as equações de Maxwell; não era necessário que se discutisse o conceito de campo, sua origem nos experimentos de Faraday, nem que fosse dito que as referidas equações fornecem relações matemáticas precisas entre a variação de uma espécie de campo (elétrico ou magnético) em relação ao outro. Respostas convencionais típicas esperadas seriam da seguinte forma:

- (9) a. o fluxo do campo elétrico num determinado volume é proporcional a carga no seu interior;
- b. o fluxo do campo magnético através de uma superfície fechada é zero;
- c. a integral de linha do campo elétrico em torno de um circuito fechado é igual à derivada temporal do fluxo do campo magnético através do circuito;
- d. a integral do campo magnético em torno de um circuito fechado é proporcional à corrente através do circuito mais a derivada temporal do fluxo do campo elétrico através do circuito.

Se o estudante escrevesse apenas as relações matemáticas a sua resposta também seria considerada como convencional. Aqui destacamos que há critério ligeiramente diferente para as respostas relacionadas às leis de Newton e às equações de Maxwell. No primeiro caso se o estudante tivesse escrito como segunda lei apenas a relação $\mathbf{F} = m \mathbf{a}$, a resposta seria considerada ambígua, enquanto que se ele tivesse escrito apenas $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$, não. Isto porque não é esperado que um estudante que esteja começando o quinto semestre, onde o curso de física moderna está encaixado na grade curricular, possua uma maturidade suficiente para discutir mais profundamente as equações de Maxwell. Além disto, os cursos de Eletricidade e Magnetismo I e II, que são os cursos básicos de

eletromagnetismo, são ministrados exatamente nos terceiro e quarto semestres, o que significa que o estudante não teve tanto tempo para amadurecer os conceitos. Por esta razão, no caso das respostas das equações de Maxwell, apenas a colocação das relações matemáticas por parte do estudante foi suficiente para que a resposta fosse considerada convencional.

A questão sobre as equações de Maxwell permitiu que percebêssemos de uma forma bastante direta como o nosso ensino supervaloriza o aprendizado de fórmulas e despreza o entendimento de conceitos. Citamos aqui, a título de ilustração, uma das respostas obtidas:

(10) As equações do eletromagnetismo são: lei de Coulomb, $F = kqQ/d^2$; lei de Ohm, $R = V / I$; equação de Laplace, $\nabla D = \partial D_x / \partial x + \partial D_y / \partial y + \partial D_z / \partial z$.

Observa-se neste exemplo que além de ter apenas relações básicas de eletricidade, a equação que é denominada de Laplace é o operador nabla atuando num vetor como se ele fosse um escalar (lado esquerdo), enquanto no lado direito aparece um operador divergente; ou seja, a equação de Laplace acima escrita na verdade é uma identidade, não uma equação matemática propriamente dita. Ou seja, ficou a idéia geral de que o laplaciano do campo elétrico está envolvido nas equações de Maxwell, embora o estudante não saiba exatamente nem o que seja um operador laplaciano.

Há ainda observações acerca da questão envolvendo as leis da termodinâmica. Esta disciplina abrange algumas das mais belas idéias do mundo físico. Quem não se encantaria com a história do seu desenvolvimento, com as contribuições de diversos pesquisadores para a construção deste magnífico edifício teórico? Nesta discussão já adiantamos um ponto que será explicitado mais adiante, qual seja, de que na construção dos conhecimentos de termodinâmica por parte dos estudantes e professores, uma abordagem alternativa seria aquela envolvendo aspectos históricos do desenvolvimento das idéias. Mas, por enquanto, nos concentraremos nos resultados dos questionários. As respostas relacionadas com as leis da termodinâmica é que deram margem e maior liberdade à utilização do senso comum. Citamos apenas três respostas que bem ilustram a utilização de conceitos de senso comum:

(11) A termodinâmica é utilizada no dia-a-dia, no copo de café com leite, no forno do fogão, na panela e outros mais. Percebemos que somos envolvidos por uma grande troca de energia, ou melhor, troca de calor. Resumidamente, podemos dizer que a termodinâmica nos diz que um corpo tende a ganhar e perder calor. Pois é graças a esse fluxo de energia que nos queimamos quando pegamos numa colher que foi aquecida por condução, assim como uma água quente por convecção e uma estrada asfaltada por irradiação;

(12) $P V = n R T$. Conceitos: Os gases tendem a ocupar todo o espaço disponível; os corpos trocam calor com o ambiente, exceto quando estão isolados do mesmo; existem várias formas de transmissão de calor: convecção, irradiação, condução;

(13) 2ª lei: o processo reversivo na transformação da temperatura não ocorre com total perfeição, como exemplo podemos citar o ar condicionado. Ele recebe o ar quente e através de sua energia e trabalho ele transforma em ar frio, mas ele não consegue realizar o trabalho inverso.

O grande número de respostas expressando as formas de transmissão de calor pode estar refletindo um conhecimento prévio trazido ainda do curso médio onde tal tópico é bastante explorado. Além disto, há muitas respostas onde as idéias de calor e de energia são expressas quase como sinônimos e o conceito de trabalho encontra-se ausente. Exemplos de respostas ambíguas são dadas a seguir:

(14) a entropia de um sistema sempre aumenta;

(15) a energia de um sistema se conserva.

Embora a primeira lei da termodinâmica seja uma expressão da lei de conservação da energia e a segunda lei diga respeito ao aumento ou a permanência do valor da entropia, expressões como estas não permitem saber se o estudante entende a diferença entre trabalho e calor, por exemplo, ou se ele entende algo sobre o conceito de entropia. Da maneira que foi colocada em (i) entropia é apenas uma palavra.

O seguinte resultado sobre os tipos de respostas foi obtido com a participação de 80 alunos da graduação. Entre os alunos da graduação encontram-se estudantes dos cursos de Física, de Engenharia Elétrica, de Matemática e de Química. Como dissemos, o agrupamento ou classificação das respostas obedeceram ao esquema proposto por Neves e Savi (2000).

Os resultados obtidos se encontram nas tabelas a seguir.

Questão 1 - Quais as leis de Newton e os seus respectivos significados? Cite exemplos.

Esquemas de respostas	Percentual de respostas entre alunos da graduação
Convencional	17,5 %
Alternativo	57,5 %
Ambíguo	25,0 %

Questão 2 - Quais as equações de Maxwell do eletromagnetismo e os seus respectivos significados?

Esquemas de respostas	Percentual de respostas entre alunos da graduação
Convencional	6 %
Alternativo	53 %
Ambíguo	41 %

Questão 3 - Quais as leis da termodinâmica e os conceitos envolvidos por trás de cada uma delas? Cite exemplos.

Esquemas de respostas	Percentual de respostas entre alunos da graduação
Convencional	26,1 %
Alternativo	47,8 %
Ambíguo	26,1 %

Estes resultados não podem ser tomados como definitivos devido a dimensão da amostragem, mas é certo que essa tendência vem a apoiar os obtidos por Neves & Savi (2000).

PERSPECTIVAS

É importante destacar que experiências anteriores mostraram (McDermott, 1993) que o ensino com ênfase na construção de modelos e desenvolvimento gradual de conceitos não prejudica o desempenho dos alunos na resolução de problemas quantitativos. Além disto as pesquisas mostram que estudantes orientados na construção de modelos apresentam resultados em exames com problemas quantitativos melhores do que os treinados apenas em resolução de problemas, além dos resultados obtidos pelos primeiros em relação aos outros serem bastante superiores quando os problemas envolvem aspectos qualitativos (Thacker *et al.*, 1994). É essencial que durante um curso introdutório de física sejam discutidas e cobradas questões que envolvam análise qualitativa e que os estudantes tenham oportunidade de explicar o seu raciocínio; que as dificuldades conceituais sejam discutidas explicitamente, além de serem abordadas em diferentes situações e contextos.

Como primeira etapa num longo processo de mudanças dos cursos de física básica já introduzimos algumas variações em alguns cursos de eletricidade e magnetismo. Através de experiências realizadas com materiais extremamente baratos (pilhas, fitas de papel alumínio, ímãs de alto-falantes velhos, limalhas de ferro, entre outros) começamos o curso de magnetismo com uma aula experimental para verificação da existência do campo magnético, linhas de campo, direção do campo, forças de atração e repulsão entre dois fios, etc. Os experimentos foram realizados não da maneira como normalmente é feito nos laboratórios específicos de física básica onde o estudante deve seguir um roteiro e preencher algumas tabelas previamente preparadas. Ao contrário, nesta aula inicial uma ligeira discussão das dificuldades experimentais enfrentadas pelos pesquisadores que descobriram o campo magnético foi feita. A seguir os próprios estudantes com o material fornecido pelo professor fazia os experimentos sugerindo maneiras de verificar os conceitos anteriormente listados. Como parte final, em casa, o estudante teria mais duas semanas para "inventar" novos experimentos com estes materiais ou outros que ele tivesse disponibilidade.

Como perspectiva de mudanças para os cursos de física básica encontra-se também a reformulação total dos cursos de física experimental, em particular, nos seguintes aspectos: (i) reformulação das disciplinas de física básica, de tal modo que os experimentos de física (mecânica, ótica, eletricidade e termodinâmica) ocorram concomitantemente com as aulas teóricas dos respectivos assuntos; (ii) introdução de novos experimentos que estimulem a aprendizagem conceitual. Tal perspectiva está baseada no fato de que diversas pesquisas em ensino de física apontam para a necessidade de que aulas expositivas com listas de exercícios para casa, com questões e provas em sala de aula não possuem a mesma eficácia se fossem associados com experimentos de laboratórios (Moraes, 2000; Thornton, 1998).

Além disto, consideramos que o estudo de história da ciência tem um papel relevante para a ampliação do conhecimento científico de nossos graduandos, não só pela mera assimilação do desenvolvimento das idéias da física, mas pela reflexão que permite reconhecer, avaliar, compreender, amadurecer as suas próprias idéias - para que no processo de comparação possam buscar, ou não, idéias mais apropriadas ao estudo da física moderna. Este estudo também permitirá aos nossos alunos, alguns futuros professores, compreender melhor os seus próprios alunos de ensino médio ou graduação; o que implicará em mais prudência ao criticar a concepção do outro, e neste embate teórico, o iniciante em física se sentirá fortalecido em defender as suas idéias e/ou estimulado a entender as outras que lhes estão sendo apresentadas. Devido a importância de todos os aspectos aqui apresentados, sugerimos que o estudo da história da física seja organizado na grade curricular em um continuum, ou seja, em algumas disciplinas ao longo de toda a graduação

(bacharelado e licenciatura). Em suma, concordamos com Lewis (1972) que as mudanças pedagógicas

"devem ser orientadas não só pela expansão dos conhecimentos, mas também por um desejo real de levar todo o homem culto da geração seguinte a compreender que a Ciência constitui um elemento básico de cultura. O não-cientista também deve aprender a assimilar isto, reconhecendo que o cientista e o não-cientista têm objetivos e valores comuns. Tentar avançar neste sentido ensinando ciência através do seu desenvolvimento histórico e em termos dos cientistas como pessoas representa claramente um método válido, porque a sua própria estrutura apresenta o homem no seu ambiente científico". (p. 202).

Em vista deste aspecto pensamos que uma estratégia na construção dos conhecimentos de termodinâmica seria a utilização de uma metodologia que envolvesse o desenvolvimento histórico das principais idéias. Como o calor produz energia mecânica para fazer funcionar as máquinas térmicas? Qual o papel da variação do volume nas máquinas térmicas e a conexão disto com o calor? Como Fourier contribuiu para o estudo da propagação de calor nos sólidos? Qual o corte conceitual entre a lei da gravitação, que é universal, e as leis do calor, que também possuem um caráter universal? Como o estudo do rendimento de máquinas térmicas se relaciona com o trabalho produzido e o calor doado ao sistema? Como a diminuição dos choques e atritos nos elementos da máquina melhoram o seu rendimento? Qual a máquina com melhor rendimento e quais as contribuições de S. Carnot ao estudo dos processos termodinâmicos? Quais os processos possíveis nos quais o calor é transferido sem produzir trabalho? O que é o ciclo de Carnot e como descrever uma máquina real? Como unir os conceitos de conversão de energia, propagação de calor e processos irreversíveis? Qual a necessidade da criação do conceito de entropia? Estas são questões que podem ser levantadas passo-a-passo, ao mesmo tempo em que são mostradas algumas contribuições de grandes pesquisadores e como seus questionamentos conduziram à formação de um conjunto coerente de idéias.

De maneira semelhante, para todas as outras disciplinas do curso de Física, pretende-se elaborar um conjunto de questões que permitam a construção ou formação do conhecimento baseado no tripé questionamento - referência histórica - conceitos físicos. Em outras palavras, além do estudo de termodinâmica, pretende-se aplicar ao estudo das disciplinas de eletromagnetismo, mecânica, ótica, mecânica estatística, física moderna e mecânica quântica, um conjunto de questionamentos que deverão ser respondidos pelos estudantes paulatinamente à medida em que as idéias físicas forem sendo discutidas. Simultaneamente a este questionamento, uma abordagem histórica será oferecida aos estudantes, permitindo que eles comparem as suas soluções a determinadas questões com as soluções encontradas por outros estudiosos do passado.

CONCLUSÃO

Embora o ensino básico não tenha conseguido ainda colaborar de forma mais efetiva para mudanças nas concepções físicas dos estudantes (Neves & Savi, 2000), na universidade o processo ocorre de forma semelhante, mas com agravante de que estes serão os futuros professores universitários ou do ensino fundamental e médio.

Concluir neste trabalho que um ensino concentrado na resolução de problemas pouco colabora para a formação do corpo discente seria uma conclusão precipitada, devido a complexidade que envolve o tema. Podemos, no entanto, inferir que mudanças substanciais devem ser feitas, tanto nos conteúdos programáticos quanto na grade curricular de nossos cursos, e que seja realizada em cima de um referencial teórico onde seja levado em consideração o processo de desenvolvimento dos processos cognitivos do aluno.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marcos César Danhoni Neves, da Universidade Estadual de Maringá, por ter inicialmente indicado o seu artigo para um estudo dirigido que ajudou no desenvolvimento de parte do presente trabalho e, pelas discussões sobre o Ensino de Física. À professora Ana Paula Rabelo, da Universidade Estadual do Ceará, pela leitura crítica do trabalho e valiosas sugestões. Aos órgãos fomentadores CNPq, CAPES e FUNCAP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ARONS, Arnold B.(1997). *Teaching Introductory Physics*. New York: Wiley.

BORN, Max (1969). *Physics in my generation*. Heidelberg: Springer-Verlag.

CAMPOS, Dinah Martins de Souza (1971). *Psicologia da Aprendizagem*. Petrópolis: Vozes.

CARVALHO, Ana Maria Pessoa (1989). *Física: Proposta para um ensino Construtivista*. São Paulo: EPU.

CHIBELI, Silvio Seno (1999). A fundamentação empírica das leis dinâmicas de Newton. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 21, N. 1, p. 1.

FREIRE, Paulo (1987). *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra.

HOWES, Ruth H.(2000). Desenvolvimento de uma força-tarefa nacional sobre educação em física na graduação. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 22, N. 4, p. 510.

LEWIS, John L., (1972). *O ensino da Física Escolar (UNESCO)*. Lisboa: Estampa.

MCDERMOTT, Lillian Christier (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned - Closing the gap. *American Journal of Physics*, Vol. 59, N. 4, p. 301.

_____ (1993). Guest Comment: How we teach and how students learn — A mismatch? *American Journal of Physics*, Vol. 61, N. 4, p. 295.

MCDERMOTT, Lillian C. and Peter S. Shaffer (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, Vol. 60, N. 11, p. 994.

- MORAES, A.M. & MORAES, I.J. (2000). A avaliação conceitual de força e movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 22, N. 2, p. 232.
- MOREIRA, Marco Antonio (2000). Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 22, N. 1, p. 94.
- NEVES, Marcos César Danhoni & SAVI, Antonio (2000). A sobrevivência do Alternativo: uma pequena digressão sobre mudanças conceituais que não ocorrem no ensino de física. *Revista Ciência e Educação*, Vol.6, N. 1, p. 11.
- TALIM, Luis Sérgio (1999). Dificuldades de aprendizagem na Terceira Lei de Newton. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Vol. 16, N. 2, p.143.
- THACKER, B.; KIM, E.; TREFZ, K. & LEA, S.M. (1994). Comparing problem solving performance of physics students in inquiry-based and traditional introductory physics courses. *American Journal of Physics*, Vol. 62, N. 7, p. 627.
- THORNTON, R.K.; SOKOLOFF, D.R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics*, Vo. 66, N. 4, 338.