



FROM MICRO TO MACROCOSMOS



INSTITUTO FEDERAL
CEARÁ

FÍSICA: EPISTEMOLOGIA E ENSINO

Rogério Fonteles Castro

Especialista em Ensino de Física - UFC; Graduado em Física - UFC) seletynof@gmail.com

Prof. Carlos Alberto Santos de Almeida

Doutorado em Física – CBPF; Mestrado em Física – UFC; Graduado em Física - UFC) carlos@fisica.ufc.br

Prof. Francisco Herbert Lima Vasconcelos

Doutorado em Engenharia de Teleinformática – UFC; Mestrado em Ciência da Computação – UFC; Graduado em Física - UFC) herbert@virtual.ufc.br

RESUMO

Neste trabalho apresentamos um estudo ontológico, epistemológico, semântico e metodológico do conhecimento da Física visando alcançar um profundo entendimento de seus construtos. Partindo deste estudo, empreendemos uma pesquisa - realizada numa turma de alunos do curso de Especialização em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará -, sobre o ensino/aprendizagem dos conceitos da Física Moderna e Contemporânea. Durante as aulas, ao longo do curso de Especialização, através da observação de discussões envolvendo questões teóricas específicas, buscamos identificar como os obstáculos epistemológicos estavam relacionados ao aprendizado dos alunos e ao ensino dos professores. Os resultados e discussões apresentados neste trabalho são parciais, mas mostram a necessidade de se entender como a Física constrói seus conceitos e teorias para que, com isto, reconhecendo e superando os obstáculos epistemológicos, se possa promover satisfatoriamente o ensino/aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea.

Palavras-chave: Epistemologia. Obstáculo Epistemológico. Bachelard. Física Moderna Contemporânea.

1 INTRODUÇÃO

Só quem bem compreende a natureza da ciência, poderá com proveito e prazer, e sem perplexidades, aplicar-se aos estudos científicos. Ciência não é coleção de conhecimentos nem busca da verdade, mas sim formação de conceitos. A Física não conta fatos, pois os seus termos: massa, energia, velocidade, não são realidades, e sim os conceitos fundamentais da ciência física, como, aliás, muito bem se diz, mas que frequentemente nos escapa durante a leitura. Os conceitos, então, são instrumentos do pensamento, artificialmente construídos, tais como as chaves de parafusos, são instrumentos que servem para abrir um motor, o qual nada tem a ver com chaves de parafusos; são escadas, pelas quais subimos a uma casa eternamente fechada (KAHN, 1963). Tendo em vista a crítica de Kahn com respeito ao conhecimento científico, constatamos sua concordância com a epistemologia bachelardiana, onde o conhecimento da Física se constrói através da dialética entre o racionalismo e o realismo. É bem verdade que grande parte dos professores e alunos, desconhece os fundamentos

epistemológicos da Física Moderna e Contemporânea, naquilo no que diz respeito à construção de seus conceitos. Disso resultam as dificuldades no ensino/aprendizagem desta ciência. Foi pensando então na melhoria do quadro lastimável do ensino/aprendizagem existente em grande parte de nossas Universidades e Escolas Secundaristas, que elaboramos aqui um estudo ontológico, epistemológico, semântico e metodológico da Ciência Física.

2 FÍSICA: ONTOLOGIA, EPISTEMOLOGIA, SEMÂNTICA E METODOLOGIA

A Física, partindo dos fenômenos, se desenvolve construindo seus conceitos, seus modelos, suas teorias:

- *Semânticamente*, os significados dos termos teóricos (conceitos), são dados implicitamente pela rede de princípios ou significados na qual estão contidos, ou seja, um conceito como o de campo eletromagnético somente pode ser descrito ou entendido dentro da teoria eletromagnética, o que é o campo em si, a ciência física desconhece;

- *Ontologicamente*, então, dizemos que a Física não conhece em si os objetos de seu estudo, mas suas relações, as estruturas matemáticas na qual estão inseridos. Ignorando, assim, a realidade, a Física toma contato apenas com os fenômenos (o observável) a partir dos quais constrói seus conceitos.

Foi Francis Bacon que estabeleceu o aforismo: *Naturam renuntiando vincimus* (pela renúncia vencemos a natureza): ou seja, somente quando renunciamos ao conhecimento do que seja a Natureza em sua *essência*, surge a possibilidade de elucidar seus mistérios e colocar suas forças a nosso serviço. A partir deste aforismo se verifica o surgimento da tendência construtiva da ciência moderna: daí então a Física se afastando da metafísica, deixa de buscar a concepção ontológica da realidade.

Este método paradoxal, então, de penetrar nos segredos da Natureza mais e mais profundamente, renunciando a responder às questões que sempre tinham sido propostas, sempre se mostrou frutuoso. Aí está o ponto em que a maneira especificamente matemática de pensar desempenhou seu papel. A *renúncia* tem por consequência uma *limitação* de respostas possíveis sobre a Natureza, e, somente com esta limitação (a impossibilidade de dar diversas respostas), ela se deixa precisar matematicamente.

- *Epistemologicamente*, a construção dos conceitos físicos se dá através da dialética entre o racionalismo e o empirismo, entre teoria e prática. Assim, a partir do momento em que se medita na ação científica, apercebemos-nos de que o empirismo e o racionalismo trocam

entre si infundavelmente os seus conselhos. Nem um e nem outro, isoladamente, basta para construir a prova científica. Contudo, o sentido do *vetor* epistemológico parece-nos bem nítido. Vai seguramente do racional ao real e não, ao contrário, da realidade ao geral, como o professavam todos os filósofos de Aristóteles a Bacon. Em outras palavras, a aplicação do pensamento científico parece-nos essencialmente realizante (BACHELARD, 1978).

(...) É, portanto, na encruzilhada dos caminhos que o epistemólogo deve colocar-se: entre o empirismo e o racionalismo. É aí que ele pode apreender o novo dinamismo dessas filosofias contrárias, o duplo movimento pelo qual a ciência simplifica o real e complica a razão. Fica então mais curto o caminho que vai da realidade explicada ao pensamento aplicado. É nesse curto trajeto que se deve desenvolver toda a pedagogia da prova, pedagogia que é a única psicologia possível do espírito científico. (...) A ciência, soma de provas e experiências, de regras e de leis, de evidências e de fatos, necessita, pois, de uma filosofia de dois polos. (BACHELARD, 1978). Exemplo prático disto é o *Salto da Ideia* de Einstein.

- *Metodologicamente*, a Física observa os fenômenos através de experiências, experimentalmente bem elaboradas, analisa as propriedades físicas presentes nestes fenômenos e - conseguindo isolar as principais grandezas envolvidas -, procede a matematização destas elaborando, então, as leis fenomenológicas e as teorias fundamentais: aplica, assim, inexoravelmente, o método científico no seu trabalho de pesquisa. (...) Entre o fenômeno científico e o número científico se tem uma dialética que, após algumas retificações dos projetos, tende sempre a uma realização efetiva do número. A verdadeira fenomenologia científica é, portanto, essencialmente uma fenomenotécnica. (BACHELARD, 1978).

3 A FÍSICA MODERNA SE TRANSFORMOU EM MATEMÁTICA

Quando da *medida* da hipotenusa do Triângulo Retângulo Isósceles, o Mundo Grego Antigo desabou: isto se deu por causa da descoberta dos incomensuráveis e a consequente constatação do *infinito* nas medidas. Assim, a matemática grega incapacitada de lidar com tais medições, favoreceu a ruína da Visão de Mundo dos pitagóricos a qual era vigente nesta época. Daí, então, Platão, tentando por ordem na "casa", fez nascer o mundo das Ideias; estabelecendo assim a dicotomia entre Idealistas e Materialistas. Aristóteles, fazendo oposição ao mestre, era materialista. Foi, então, a partir de uma simples medida dos catetos e da hipotenusa de um triângulo, que se gerou toda uma controvérsia entre idealistas e realistas, entre espiritualistas e materialistas, entre teoria e prática, que se estendeu até os nossos dias.

Entretanto, com Newton, Leibniz e a fundamentação dos números reais, temos a superação de tal controvérsia e, finalmente, o pitagorismo definitivamente é adotado pela ciência na modelagem matemática da Natureza.

Hoje, novamente, por conta de uma problemática gerada pelas *medidas* da posição e do momento do elétron em dado experimento físico, temos uma nova reviravolta com relação a Visão de Mundo consagrada pela comunidade científica atual e fundamentada na Física Clássica. Ou seja, a realidade ao nível atômico é segundo um novo paradigma dado pela Mecânica Quântica: na “interpretação de Copenhagen”, mesmo a oposição tradicional entre *idealismo* e *realismo* não pode mais ser empregada e as teorias tradicionais do conhecimento fracassam. Ao nível dos quanta, portanto, no processo de *medida*, dar-se a problemática do observador (que mede) e do observado (o objeto medido): ou melhor, a dicotomia espírito/matéria, alma/corpo, observador/observado, iniciada com Platão e sacramentada por Descartes, está fadada ao fracasso. Então, de acordo com as conclusões de Heisenberg, defensor genial da ortodoxia quântica, qualquer modelo explanatório que possamos construir da realidade só pode ter a finalidade duma melhor compreensão, representando apenas uma especulação. Os processos que se verificam no tempo e no espaço de nosso ambiente diário são propriamente o real e deles é feita a realidade de nossa vida concreta. Entretanto, “quando se tenta, diz Heisenberg, penetrar nos pormenores dos processos atômicos que se ocultam atrás desta realidade, os contornos do mundo *objeto - real* se dissolvem não nas névoas de uma nova imagem obscura da realidade, mas na clareza diáfana de uma *matemática* que conecta o possível (e não o “factual”) por meio de suas leis” (BECKER, 1965).

Assim, a Física Moderna transformou-se em matemática... Na concepção de Heisenberg, aperfeiçoado o seu cálculo matricial sobre bases estritamente probabilísticas, cada átomo seria representado por uma matriz e o movimento dos elétrons no interior do átomo poderia ser representado por outra matriz. Assim, a especial circunstância de que a matéria parece reduzir-se ao mero cálculo matemático, estabeleceu que, pela primeira vez na História da Ciência, a *imagem* fosse varrida por completo da Física. Com o cálculo de matrizes a matéria já não é partícula nem onda nem nenhuma outra coisa susceptível de descrição, mas aquilo que cumpre um puro esquema matemático regido pelos *princípios de simetria*. Em outras palavras, a Física Moderna desmaterializou a matéria.

4 EPISTEMOLOGIA BACHELARDIANA

A ciência não é completamente *transparente*, nem mesmo para aqueles que a fazem. O que torna científico um conhecimento? O que caracteriza a abordagem da realidade feita pela ciência? Como entender o progresso em ciência? Todas estas e outras questões são obscuras ao nível da ciência positiva e legitimam outro nível de análise, que é o da epistemologia. Situando-se neste nível, o presente artigo trata de alguns conceitos da epistemologia bachelardiana.

Para Gaston Bachelard - considerado o filósofo da desilusão, cuja marca central é o permanente recomeçar -, não existem verdades primeiras, *apenas erros primeiros*. O autor confere primazia ao erro e a sua retificação, ao invés da *verdade* na construção do conhecimento científico. Assim, é preciso errar em ciência, pois o conhecimento científico somente pode ser construído pela retificação destes erros.

A partir da própria concepção do significado de epistemologia para Bachelard, se podem depreender algumas de suas mais importantes ideias como: a ruptura epistemológica, a vigilância, a noção de obstáculo epistemológico e a importância da retificação do erro para o avanço da ciência.

A noção de *ruptura epistemológica* é um importante conceito tratado por Bachelard e está diretamente ligada à noção de retificação dos erros, na medida em que o conhecimento ocorre sempre contra um conhecimento anterior, retificando o que se considerava sabido e sedimentado. Por isso, não existem verdades primeiras, apenas os primeiros erros: a verdade está em devir (...) o que sabemos é fruto da desilusão com aquilo que julgávamos saber; o que somos é fruto da desilusão com o que julgávamos ser (MONTEIRO; MUNHOZ; BERTHOLINI, 2012).

O conceito de ruptura na obra bachelardiana representa a preocupação com o avanço do conhecimento científico por um caminho correto e, representa também, a não banalização do conhecimento produzido. Para garantir a não cristalização do conhecimento e manter crítico o espírito científico, torna-se necessária, assim, a noção de vigilância. Uma postura de *vigilância epistemológica* seria responsável, então, por garantir um eterno recomeçar demandado pelo verdadeiro espírito científico.

O conceito de *obstáculo epistemológico* surge do reconhecimento da existência de forças de resistência ao processo de ruptura entre o conhecimento comum e o conhecimento científico. Os obstáculos epistemológicos são espécies de forças anti-rupturas, pontos de resistência do pensamento ao próprio pensamento, um instinto de conservação do pensamento. Assim, com o objetivo de manter a continuidade do conhecimento, a razão,

acomodada ao que já conhece, resiste à retificação dos erros, possibilitando o surgimento dos obstáculos epistemológicos (MONTEIRO; MUNHOZ; BERTHOLINI, 2012).

Bachelard classificou o senso comum como um obstáculo ao conhecimento científico, uma vez que ele está preso ao aparente, às experiências primeiras e à generosidade. Classificou-o como um obstáculo epistemológico que pode ser estudado tanto no desenvolvimento histórico do pensamento científico como na prática da educação. Não obstante, tal obstáculo, segundo as pesquisas vygotskianas, atestam que não é da erradicação do senso comum que se estabelece o conhecimento científico, mas sim, da mutação dele.

Fica óbvio que existe a necessidade imperativa, em educação, da superação deste obstáculo para que o estudante possa efetivamente aprender. Tal superação equivale a uma *ruptura* com o senso comum, e é sempre precedida de atos pedagógicos. Bachelard foi o primeiro a utilizar esse termo para indicar uma descontinuidade entre o conhecimento comum e o conhecimento científico.

Evidentemente que ninguém mais que este filósofo insistiu na ruptura entre o conhecimento usual e o científico, fato que o levou a afirmar que as Ciências Físicas e Químicas, em seu desenvolvimento contemporâneo, podem ser caracterizadas epistemologicamente como domínios de pensamentos científicos que rompem nitidamente com o conhecimento vulgar (SOBRINHO; FROTA, 1998).

5 METODOLOGIA

A metodologia adotada em nosso estudo possui um caráter qualitativo e interpretativo. A experimento apresentado neste trabalho, então, trata de um estudo de campo sob caráter exploratório realizado numa turma do curso de Especialização em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará ao longo do ano de 2009: esta turma, média de 20 alunos, era formada por professores - licenciados em Física -, da rede pública e privada de ensino.

Optando, então, por realizar nossa pesquisa científica através da observação, tivemos o máximo de cuidado para, com a nossa presença, não provocar alterações no comportamento dos observados, destruindo a espontaneidade dos mesmos e produzindo resultados pouco confiáveis. Nossa observação foi não-estruturada, participante e simples: permanecemos alheios ao grupo ou situação que pretendíamos estudar, observando de

maneira espontânea os fatos que aí ocorriam; neste procedimento fomos muito mais um espectador que um ator.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dinâmica de nosso trabalho, embasada na observação participante, a qual nos permitiu captar as palavras de esclarecimentos que acompanhavam o comportamento dos observados, segue o relato de nossas experiências e a de nossos colegas ao longo do curso de especialização: tudo no sentido de analisar a influência do senso comum - tomado como um obstáculo epistemológico - em nossas discussões.

Resultou , então, de nossa pesquisa, a verificação de um forte uso inconsciente do senso comum, tanto pelos docentes como pelos discentes, de tal forma que a interpretação dos fatos concretos por estes estava ainda fundamentada no realismo ingênuo:

Albert Einstein, em seu livro “A Evolução da Física”, nos revela a causa da grande confusão que todos fazemos entre representação e realidade quando nos confrontamos com os conceitos da física moderna. Desde criança, diz Einstein, desenvolvemos um forte condicionamento, causado pelo realismo ingênuo, segundo o qual, quando observamos um dado objeto, somos levados, naturalmente, a tomarmos o fenômeno pelo objeto real (“a coisa em si” de Kant). Este realismo ingênuo, podemos dizer, é fruto do senso comum: principal obstáculo epistemológico definido por Bachelard. *Os alunos da especialização também se utilizavam do realismo ingênuo citado por Einstein: quando um colega nosso nos relatou que seus alunos do Ensino Médio lhes perguntavam o que era um campo eletromagnético “mesmo” e ele não tinha a menor idéia de como lhes explicar, verificamos aí o realismo ingênuo, produto do senso comum.*

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aqui fizemos um recorte de uma pesquisa mais ampla - a nossa monografia de conclusão do curso de Especialização em Ensino de Física (UFC) – na qual se analisa, sob vários aspectos, as dimensões do conhecimento físico, suas relações com o ensino e com a aprendizagem, no intuito de se superar os obstáculos epistemológicos.

Verificamos, portanto, que um estudo esclarecedor sobre os aspectos ontológico, epistemológico, semântico e metodológico da Física - principalmente, da Física Moderna e

Contemporânea -, é decisivo no contexto do ensino/aprendizagem e no planejamento da aula. Obstáculos epistemológicos geram erros conceituais, pois, aquilo já conhecido pelos alunos - sejam concepções e percepções do cotidiano ou concepções científicas -, resulta por guiar a interpretação dos fenômenos e dos objetos de estudo, e impedem a correta compreensão/construção do novo conhecimento.

Dado termos elaborado aqui apenas um recorte de uma pesquisa mais ampla, os resultados e considerações, apresentadas no presente trabalho, são limitados, mas já mostram uma necessidade de reconhecimento e superação dos obstáculos epistemológicos os quais podem ser vencidos através de um estudo profundo sobre como a Física constrói seu conceitos e teorias.

Nossa pesquisa continua em andamento: esperamos levar aos professores/alunos de licenciatura esclarecimento maior sobre a Epistemologia da Física, favorecendo, assim, a capacidade de lidar com os obstáculos epistemológicos. Então, com a categorização dos variados tipos de obstáculos epistemológicos, investigar a relação entre eles, e reconhecer melhor as formas de superação: ainda, na elaboração da epistemologia bachelardiana, utilizaremos mapas conceituais (MONTEIRO; MUNHOZ; BERTHOLINI, 2012).

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BACHELARD, G. **O Novo Espírito Científico**. Rio de Janeiro: Editora Abril Cultural, 1978.
2. BECKER, O. **O Pensamento Matemático**. São Paulo: Editora Herder, 1965.
3. CASTRO, R. Fonteles. **Física: Epistemologia e Ensino**. 2011. 142 f. Monografia (Especialização em Ensino de Física) – Curso de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
4. KAHN, F. **O Livro da Natureza**. 4.Ed. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1963.
5. MONTEIRO, L. A., MUNHOZ, D., BERTHOLINI, F. **Bachelard e a Epistemologia Histórica**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2012_EPQ2141.pdf>. Acesso jan. 2015.
6. SOBRINHO, J. A. C. M.; FROTA, P. R. O. **Ensino de Ciências: Texto e Contextos**. Florianópolis: Marte Editora, 1998.