

MODELOS E REALIDADE NO CONHECIMENTO CIENTÍFICO: LIMITES DA ABORDAGEM CONSTRUTIVISTA PROCESSUAL

Maurício Pietrocola¹
Dept. De Física - UFSC
Campus universitário - Trindade
88040-900 - Florianópolis - Santa Catarina
(pietro@fsc.ufsc.br)

INTRODUÇÃO

A Educação em geral foi marcada nos últimos vinte anos pelo *construtivismo*, que se tornou palavra de ordem de um movimento que revolucionou a concepção e as práticas pedagógicas. Influenciado por trabalhos oriundos de várias áreas do conhecimento, como a psicologia, a epistemologia, entre outras, o construtivismo na Educação redimensionou o papel do indivíduo no processo de ensino/aprendizagem, que de mero espectador, passou a ser concebido como o agente do seu próprio conhecimento.

Seria injusto afirmar que tal movimento não fora importante e que essa mudança de enfoque não tenha sido fundamental no estabelecimento de um novo paradigma educacional na orientação de estudos e pesquisas realizadas.² Porém, passadas quase duas décadas é importante promover uma contínua avaliação dos pressupostos teóricos adotados e dos resultados obtidos a partir deles.

Nosso objetivo nesse trabalho será mostrar que os pressupostos epistemológicos que orientaram o movimento construtivista imprimiram um perfil relativista ao conhecimento presente no ensino de Física. Particularmente, a transposição dos trabalhos de Thomas Kuhn para área de pesquisa em ensino de Física sobre-valorizaram o aspecto processual da atividade científica, centrada na idéia de *revolução científica* e no sentido pouco preciso do termo *paradigma*, presente na sua principal obra.

Para essa análise procuraremos traçar um rápida cronologia, enfatizando principalmente os debates no campo da filosofia da ciência nos anos 50 e 60, que visavam ultrapassar o empiricismo lógico, e que terminaram por lançar as bases de uma epistemologia construtivista. Em seguida, a partir da idéia de *transposição didática* passaremos a mostrar que os ecos desse debate atingiram a área de ensino, gerando relativização do conhecimento frente a outras formas de conhecimento, ao mesmo tempo que praticamente baniram a “realidade” como referente das teorias construídas sobre os fenômenos físicos. Para levar essa análise a frente, buscaremos apoio em filosofias da ciência realistas, centrando nossa atenção principalmente nas questões ligadas ao contexto da descoberta em física, à noção de verdade, as forma de vinculação das teorias física com a realidade através dos *modelos*.

ORIGENS EPISTEMOLÓGICAS DO CONSTRUTIVISMO NO ENSINO DE FÍSICA

Traçar as origens do construtivismo na educação científica não é algo fácil. Porém, é possível acompanhar em grandes linhas as mudanças processadas na própria forma de conceber o conhecimento científico a partir do início do século.

¹ Parcialmente financiado pelo CNPq

² Ogborn, 1997.

Desde a materialização do programa newtoniano, a ciência moderna passou por um longo período de valorização do conhecimento através de práticas empiricistas, onde o acesso objetivo aos fatos garantia a qualidade das teorias. O ápice desse processo configurou-se com a proposição do empiricismo-lógico no início do século, que foi praticamente hegemônico até sua primeira metade. Grosso modo, nessa concepção o conhecimento estaria depositado na própria realidade e caberia ao cientista desvelá-lo, descobri-lo evitando a introdução de tudo que fosse opinião e hipóteses não comprovadas. Através de técnicas experimentais seriam obtidos resultados que permitiriam formular as leis e teorias

A influência dessa concepção da ciência se fez sentir na educação científica de várias maneiras. Uma delas se deu na forma de assumir o papel passivo do estudante com relação ao processo de apreensão do conhecimento científico. Ao professor caberia fazer compreender ao estudante sua organização interna ou seja sua "estrutura" através de análises lógicas cuidadosas. A "dissecação" das teorias resultaria nos blocos fundamentais de conhecimento habilitando os educadores a determinar as estratégias para o seu aprendizado, encadeando os conceitos em seqüências do simples ao complexo. Esse processo seria semelhante ao desmontar e montar de um mobiliário na ocasião de uma mudança. O ensino passaria a ser a transferência das teorias para a cabeça dos alunos. O processo pedagógico, em particular, teria como principal função fornecer as instruções de montagem ao professor, materializada em seqüências didáticas eficientes.

Essa concepção de conhecimento levou os educadores durante muitos anos a não se preocupar com as relações que se estabelecem no contexto de produção das teorias. O papel do educador resumiu-se ao burilamento das sequências de ensino, à insistência no ensino do método científico e à completa desconsideração do conhecimento próprio trazido pelo estudante. Talvez, o tecnicismo tenha sido o ápice dessa concepção educacional.

É importante ressaltar a coerência entre a epistemologia empiricista e a concepção tecnicista, pois o conhecimento reduzido ao status de produto-imagem da realidade não poderia ser objeto de outro tipo de ensino.

A partir da segunda metade do século um forte movimento de questionamento e crítica à concepção empiricista passa a evidenciar as suas insuficiências. Kuhn e Popper são os nomes mais lembrados nesse contexto pelos golpes proferidos contra as afirmações empiricistas e que terminaram por abalar o consenso estabelecido em torno dele. As principais críticas dizem respeito à dependência da observação para com o contexto teórico e a impossibilidade da lógica indutiva sustentar a veracidade absoluta do conhecimento. Apesar de discordarem sobre o peso dos diversos elementos presentes no contexto de produção de conhecimento científico, tais epistemólogos têm pontos em comum que permitiram enquadrá-los sob o rótulo de *Construtivistas*. Para eles, o conhecimento é fruto da ação direta do pesquisador e do contexto no qual ele se insere, seja ele mais ou menos enquadrado pela sua comunidade de pesquisa. O conhecimento não pode ser considerado absolutamente verdadeiro, é tem validade localizada no tempo. Há uma série de outros pontos que delineiam as diversas matizes do construtivismo na epistemologia. Descrevê-las série por demasiado longo.

Mas foram sem dúvida, os conceitos de *revolução científica* e de *paradigma*, presentes na "Estrutura das revoluções científicas" de Thomas Kuhn, as idéias de maior impacto nesse contexto, e que de certa maneira exportaram este debate do âmbito estrito da filosofia da ciência para outras áreas de conhecimento. Hoje é muito comum encontrarmos o emprego do termo paradigma nas mais diversas áreas do conhecimento. Segundo Abrantes os aspectos sociológicos da análise kuhniana foram os mais enfatizados, particularmente em relação à tese da *incomensurabilidade* ligada à noção de Revolução

Científica³. Ele atribui esse leitura de Kuhn, entre outros aspectos, a “...uma irresistível sedução para os envolvidos com a tradição de sociologia do conhecimento e também para os que procuravam paralelos entre a prática das ciências naturais e das sociais.”⁴ Os aspectos da obra kuhniana permitiram, através das ditas teses sociológicas e principalmente pelo uso da noção de paradigma, legitimar práticas menos próximas dos padrões científicos nos anteriores moldes empiricistas e elaborar estudos comparativos entre a produção de conhecimento na ciência e em outros domínios.

Especificamente na educação científica os questionamentos aos preceitos empiricista foram benéficos, na medida em que atenuaram o valor atribuído ao ensino do *método científico* e colocaram em cheque a fundamentação da concepção educacional conhecida como *método da redescoberta*, ambos com forte inspiração empiricista. Libertando-nos da idéia de que existiria um método científico, que levaria a descoberta de conhecimentos verdadeiros foi possível orientar as pesquisa educacionais para o delineamento das características, condições, valores e demais elementos presentes na *construção* de conhecimento científico. E principalmente, atribuir valor aos conhecimentos produzidos pelos próprios estudantes. Essa nova orientação gerou na educação científica o movimento *construtivista* que tem como principal característica atribuir aos estudantes o papel de construtores de seus próprios conhecimentos, valorizando todas as etapa desse processo.

As pesquisas em *concepções alternativas*, predominantes nos anos 80 e 90 nas pesquisas em ensino de ciências, centraram-se no conhecimento produzido pelos próprios estudantes e são a influência mais clara dessa tradição construtivista no ensino.⁵ Porém, as influências no contexto do ensino de ciências não se limitaram a isso. Muitas noções e análises internas ao debate epistemológico foram transportadas para o contexto específico da pesquisa em ensino de ciências, como podem atestar o uso de termos como “paradigma”, “núcleo duro”, “perfil epistemológico”, “obstáculo epistemológico”, etc. A teoria de ensino mais popular nesse período, a *Mudança Conceitual*, possui uma estrutura muito similar à das *mudanças paradigmáticas* no contexto das ciências naturais, e utiliza de forma ampla demais conceitos da abordagem kuhniana, além de outros conceitos tirados do pensamento lakatosiano como os *programas de pesquisa*, assim como da noção de *ecologia conceitual* presente obra de Toulmin.⁶ Em outras palavras, a tradição construtivista no ensino de ciências sofreu forte influência dos ditos aspectos sociológicos do debate epistemológico centrado na obra de Kuhn, onde se destacam os *processos* de validação do conhecimento científico relativamente ao contexto de produção.

Cabe porém, questionar se esta transposição do domínio da filosofia da ciência para aquela do ensino-aprendizagem de ciências não resultou em adaptações desmesuradas ou restrições importantes. Segundo as colocações de Chevalard sobre a *transposição didática*⁷, a passagem do conhecimento científico desde seu contexto de produção até se tornar objeto de ensino na forma de conteúdo escolar configura-se como um processo seletivo e adaptativo envolvendo a tomada de decisões frente a valores externos ao contexto original de produção do conhecimento. O termo "transposição didática" empregado por esse pesquisador delimita justamente os contornos dentro dos quais os processos de construção de conhecimento se enquadram, desde sua produção no meio científico ("saber sábio") até

³ Abrantes, 1998, p. 61.

⁴ Ibid, p. 62

⁵ Para um idéia da produção nessa área de pesquisa, ver Duit, 1994. Sobre benefícios e críticas ao paradigma construtivista na educação científica, ver Millar 1989 e mais recentemente Ogborn 1997.

⁶ A análise completa desse trabalho pode ser vista em Santos, 1996.

⁷ Chevalard, 1985.

sua introdução na escola ("saber escolar"). Partindo desse referencial devemos buscar na transposição do debate epistemológico sobre a produção do conhecimento científico os elementos selecionados e as adaptações necessárias para o contexto das pesquisas em educação científica, na qual se insere as discussões sobre o ensino de Física.

A TRANSPOSIÇÃO DO CONSTRUTIVISMO PARA O CONTEXTO DAS PESQUISAS EM ENSINO

Um dos elementos mais importantes que diferenciam o contexto da atividade científica, sobre o qual é feita a análise filosófica, daquele relacionado ao ensino das ciências centra-se nos **sujeitos** do conhecimento presente em cada um deles, i. é, em cientistas e estudantes. A eles está associado a gênese do conhecimento e que acaba por contribuir na determinação das suas formas de produção e validação. A transposição ingênua desses sujeitos não tardou a apresentar problemas. Trabalhos como o de Driver⁸ procuraram avançar paralelos nessa direção e foram posteriormente criticados. Sobre essa colocação, pode-se destacar dois pontos.

O primeiro diz respeito ao processo de interação indivíduo-objeto do conhecimento. Não se trata de simplesmente transportar acriticamente o que acontece no meio científico para o processo de ensino. O contexto no qual trabalha um cientista nunca poderá ser transportado para o ambiente escolar. É praticamente impossível conceber os alunos como participantes de padrões de produção de conhecimento presentes na comunidade científica de referência. O contexto dessa comunidade não pode ser simulado na escola. É possível apreendê-lo, dando sentido ao produto a ele vinculado, mas reproduzi-lo não.⁹ Nesse sentido, a construção de conhecimento pretendida pela escola não pode ser enquadrada segundo padrões unicamente epistemológicos com referência ao saber de origem, mas principalmente pedagógicos no sentido de um epistemológico-pedagógico. Isso é uma epistemologia que possa englobar não só o contexto de construção do conhecimento de referência, mas também aquele vinculada ao contexto próprio do indivíduo.

O segundo ponto se vincula aos objetivos presentes na atividade científica e nas atividades do dia-a-dia. No caso da pesquisa científica parece claro que o objetivo é obtenção de conhecimentos na forma de teorias que permitam *interpretar* e *prever* domínios determinados de fenômenos físicos. Abre-se aqui um terreno fértil para debate sobre as formas de produção e legitimação desse conhecimento, mas existe para além dele a certeza de que sobre ele podemos gerar operações que permitirão obter resultados no domínio empírico. Portanto, pode-se associar à prática científica e ao seu sujeito em particular a busca de um conhecimento com atribuição *funcional*, materializado na capacidade das teorias de permitirem um diálogo com a natureza. Isso é obtido através das teorias, leis, conceitos, técnicas experimentais construídas segundo os padrões ditados pela comunidade em questão e que permitem aos cientistas lidar com os resultados obtidos. Portanto o conhecimento cumpre um papel/função dentro da atividade científica.

Para os indivíduos em geral, e especialmente para os estudantes no contexto da educação científica, não parece absurdo afirmar que exista essa mesma necessidade de atribuir uma função específica ao conhecimento que espera-se ele aprenda através do ensino. Assim qual seria o papel do conhecimento científico presente no contexto escolar? Seria possível associar a ele um valor *funcional* como acima mencionado? Ao focar aspectos funcionais do conhecimento científico para os estudantes, temos de considerar a

⁸ Driver, 1979.

⁹ Gil-perez propõe num artigo de ??? considerar a sala de aula como espaço para articulação de grupos de pesquisa. Acredito que experiências como estas dificilmente possam gerar bons resultados.

sua utilidade extra-escolar. Porém eles escapam às análises sobre o contexto de produção tributárias da tradição kuhniana.

A ênfase nos aspectos sociológicos do desenvolvimento científico induz as análises educacionais a ressaltar a vinculação do conhecimento ao seu contexto de produção. Estudos comparativos entre as formas de produção pelos estudantes de conhecimento alternativo e de produção de conhecimento científica relativizam o valor de ambos aos seus contextos específicos. Os trabalhos mencionados anteriormente na óptica das mudanças conceituais são exemplos dessa natureza e têm basicamente colocado a necessidade de evidenciar as concepções prévias dos estudantes, para em seguida criar situações de *tensão ou conflito cognitivos* que gerem a superação das mesmas¹⁰.

Ao visar a construção de novas concepções capazes de superar os conflitos cognitivos, é de pouca ou nenhuma importância o papel a ser desempenhado pelo conhecimento para o sujeito em questão fora desse contexto escolar específico, ou seja aquele que engloba os fenômenos e situações enfocados no processo de ensino. Centrando-se unicamente no aspecto construído do conhecimento, muitas vezes deixa-se de considerar que para além dele, existem aspectos relacionados ao uso que o estudante fará desse conhecimento. Seria algo similar à dimensão funcional anteriormente mencionada no contexto da pesquisa científica. Não parece suficiente pensar o ensino científico focando-se apenas nos condicionantes ligados ao contexto de produção, limitado aos processos de construção científica. Devemos necessariamente considerar o uso que o estudante fará desse conhecimento numa dimensão mais ampla que ultrapasse o contexto escolar e isso implicará em considerar o status que lhe será atribuído.

Como as teorias científicas construídas não tem valor absoluto, mas devem ser sempre relativizadas, não é importante analisar seu valor intrínseco, mas apenas justificá-lo face ao seu contexto de produção caracterizado historicamente.

Essa última questão escapa do domínio restrito do que defino como *construtivismo epistemológico processual* presente nas pesquisas educacionais forjado a partir da tradição kuhniana¹¹. Defino essa abordagem como uma epistemologia centrada nas condições de construção do conhecimento, onde se procura apreender o contexto no qual a atividade do indivíduo ocorre, delineando seus pressupostos. A filosofia Kuhniana, ou melhor a versão mais usual dessa filosofia transporta para o contexto das pesquisas em educação científica valorizaram em demasido as condições de apreensão dos paradigmas. Em outras palavras, a epistemologia científica nos moldes dos paradigmas kuhnianos levou a sobre-valorização do domínio *heurístico* do conhecimento em detrimento de seu valor ontológico.

A DIMENSÃO ONTOLÓGICA DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO ESCOLAR

As pesquisas sobre ensino de ciências têm procurado nas últimas décadas alternativas para o mito empiricista da produção de conhecimento, contra o estabelecimento de regras que acompanham o tão “propagandizado” método científico, sobre sistemas filosóficos mais adaptados a embasar nossas reflexões sobre o processo de construção de conhecimento. Mas

¹⁰ A meu ver, os *conflitos cognitivos* de inspiração piagetiana, são transpostos para o contexto das pesquisas em ensino de ciências desprovidos de seu principal elemento, a o referente *real* presente nos fenômenos que se pretende interpretar.

¹¹ No sentido que enfatiza a análise do período de *Revolução Científica* em detrimento das práticas mais próximas da *Ciência Normal*. Ver Abrantes, 1998.

parece que deixamos de lado a seguinte pergunta: qual a imagem esperamos que os estudantes tenham sobre o conhecimento físico que ensinamos?

Não se trata aqui de uma falsa questão, pois a antiga concepção empiricista oferecia uma resposta clara a essa questão. Nessa concepção, o conhecimento científico (as teorias propriamente ditas) seria a materialização de forma absoluta o retrato aproximado das coisas. A motivação da educação científica transcendia a própria ciência, na medida em que se buscava através dela a própria essência da realidade. Porém, o construtivismo, ao extirpar a idéia de verdade absoluta, a idéia de método científico parece ter extirpado desavisadamente a própria idéia de *Realidade*. Isso é, falamos da realidade em voz baixa, procurando substituí-la por outras idéias, como domínio empírico, domínio fenomenológico, contexto experimental, etc. O conceito de Realidade parece-nos por demais identificado ao contexto empiricista que gostaríamos de ver banido de nossas mentes.

Ao adotar uma concepção de ensino-aprendizagem científica sem a idéia de realidade cria-se uma armadilha epistemológica. Nega-se o *empiricismo ingênuo* com o risco de adoção de um *relativismo ingênuo*. Nesse caso teríamos as construções conceituais propostas pela ciência valoradas apenas no seu próprio interior. Ou melhor, as teorias científicas seriam simplesmente estruturas conceituais com coerência interna, dentro da qual podemos estabelecer relações de causa e efeito. A comparação entre diversas teorias não seria possível visto tratar-se de estruturas idiossincráticas no tempo e no espaço.

Apesar do exagero das últimas frases, a falta de um referente externo às próprias teorias leva-nos a essas conclusões relativistas. Embora isso não seja em si um problema, visto a existência de diversos sistemas epistemológicos relativistas que procuraram entender a prática científica (ver Duhem, etc. e no limite Feyrabend), no domínio do ensino de ciências abre-se uma grave lacuna. Sem o conceito de realidade como referente externo perdemos uma forte justificativa para o ensino científico. Até o meio do século, ensinávamos ciências pois ela nos revelaria os segredos da natureza. Isso deve ter motivado Aristóteles, Galileu, Newton e outros no curso de seus trabalhos. O que deveria dizer um professor corretamente identificado com a cartilha construtivista a essa pergunta?

No contexto escolar sempre poderíamos recorrer a respostas institucionais, ressaltando o aspecto da formação científica para determinadas profissões. Apesar de válido, tal encaminhamento limitaria em demasia a importância do conhecimento científico na formação do indivíduos, pois é sabido que apenas uma minoria deles desempenharão atividades onde o conhecimento científico é ferramenta profissional. Limitando o conhecimento científico escolar a desempenhar tal função, impedimos que ele se torne ferramenta de interpretação no cotidiano dos estudantes. Pesquisas têm revelado que Em muitas ocasiões, os estudantes, mesmo tendo conhecimentos científicos sobre determinados assuntos, aferidos no contexto escolar, recorrem a concepções não científicas quando confrontados com problemas ou questões relacionadas diretamente ao mundo físico. Como afirmamos acima, o conhecimento científico constitui-se numa forma privilegiada historicamente de representação do real, e é essa característica deve garantir sua posição nos currículos. Por que então que ele é preterido pelo conhecimento alternativo, desenvolvido pelo próprio aluno. Poderíamos optar pela afirmação de que o conhecimento aparentemente aferido pela escola como incorporado pelo aluno, na verdade não o foi. Isso sugere como solução uma intensificação nas estratégias de construção do conhecimento. Culpa-se portanto a eficiência do processo e sua aferição. Todavia, a nosso ver, não se trata de apenas melhorar a eficiência do ensino, mas na importância que tem sido dada ao aspecto funcional do conhecimento científico para os estudantes.

Muito pouca coisa tem sido feita para que os alunos percebam que o conhecimento científico aprendido na escola serve como forma de interpretação do mundo que o cerca. Sem irmos muito longe nessa direção, não parece que os alunos percebem que as teorias científicas permitem de construir explicações engenhosas sobre os fenômenos que eles presenciam no seu dia-a-dia. A cor do céu, as sensações térmicas dos objetos presentes num mesmo ambiente, a aparência de superfícies polidas e outras situações sem resposta na escola mais parecem indicar uma incompatibilidade entre o conhecimento científico ensinado as situações vivenciadas no cotidiano. O conhecimento científico aprendido pelos estudantes parece incapaz de operar sobre essas situações e até pior do que em alguns casos leva-os a conclusões contrárias aquelas observadas. Nessas condições é muito difícil para um estudante abandonar suas concepções alternativas. Não é, portanto de se estranhar que a ciência fique restrita apenas às situações escolares.

Nesse sentido, acredito que se deve re-inserir com urgência a *realidade* como objeto da educação científica. Não nos moldes determinados pelo empiricismo ingênuo, mas enfatizando o conhecimento construído pela ciência como esboços da realidade. Para isso, é necessário a ampliação do *construtivismo processual* para um *construtivismo ontológico* (falta de melhor termo). Nele a realidade passa a ser o objetivo final da educação científica, que deve porém ser perseguida pela construção de *modelos*.

SOBRE MODELOS E MODELIZAÇÃO NA VISÃO DE MARIO BUNGE

Se o construtivismo educacional deve conter uma dimensão ontológica, devemos necessariamente buscar apoio em sistemas filosóficos que admitam a possibilidade de se alcançar a realidade, i. é, que tenham um perfil realista. Apresentaremos a seguir as idéias de Mario Bunge, um filósofo realista, cujas em cujo sistema de pensamento os modelos desempenham papel central.

A discussão sobre modelos no seu trabalho se inicia pela análise de sua função na constituição do *conhecimento teórico* das ciências. Para ele, a capacidade de produzir conhecimento teórico é uma característica da ciência desenvolvida pelas sociedades modernas, pois nas sociedades pré-industriais crença, opinião e conhecimento pré-teórico eram suficientes.¹² Para Bunge, o caráter teórico do conhecimento torna-se medida de progresso científico, mais do que o volume de dados empíricos acumulados.¹³ Ele se daria justamente pelo avanço teórico de determinado área da ciência em *apreender* o real. Nas suas palavras:

“Converter coisas concretas em imagens conceituais cada vez mais ricas e expandi-las em modelos teóricos progressivamente complexos e cada vez mais fiéis aos fatos, é o único método efetivo para apreender a realidade pelo pensamento.”¹⁴

Dentro desse contexto, ele passa a precisar o papel desempenhado pelas teorias e sua relação com a realidade.

Com relação a isso Bunge coloca que “toda **teoria específica**¹⁵ é na verdade um **modelo matemático** de um pedaço da **realidade**”. TR pag 10 Essa afirmação apresenta os principais

¹² Bunge, 1974, pag. 9.

¹³ Idem, pag 10.

¹⁴ idem, p. 12

¹⁵ Os negritos são acrescentados por mim, enquanto o itálico representará grifo presente no próprio texto

elementos do debate epistemológico que ele pretende desenvolver, ou seja *Teoria, Modelo, Matemáticas e Realidade*

Bunge aborda os modelos na medida em que quer dar conta das relações existentes entre as teorias e os dados empíricos. Os modelos são colocados como intermediários entre as duas instâncias limítrofes do fazer científico: as teorias e a realidade. Ao longo de todo seu trabalho ficará claro que, embora de fundamental importância, as teorias por si só nada valem no contexto científico, pois sendo abstrações produzidas por nossa razão e intuição não se aplicariam *a priori* às coisas reais. Por outro lado, os dados empíricos apesar de mais próximos da realidade, não podem ser inseridos em sistemas lógicos e gerar conhecimento. Dessa aparente dicotomia entre *teórico e empírico*, é que é introduzida a modelização como instância mediadora.

Com efeito, B. define três elementos fundamentais no processo de teorização:

- 1- *Teoria geral* - que pelo fato de ser geral se aplica potencialmente a qualquer parte da realidade, mas é impotente por si só na resolução de problemas;
- 2- *Objeto-modelo* – que se constituem em imagens conceituais (e portanto abstratas) dos elementos pertencentes a um sistema real que se pretende interpretar através de uma teoria geral.
- 3- *Modelo teórico (ou Teoria específica)* – “...é um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo”¹⁶ e “..., é obtido pela adjunção de suposições subsidiárias a uma estrutura geral... cobrindo uma espécie em vez de um gênero extenso de sistemas físicos”.¹⁷

Os objetos-modelos são formulados através das propriedades comuns, ou admitidas como comuns de determinado grupo de objetos reais em foco. Apesar de um alto grau de realidade, não permitem nenhuma operacionalização que vá além do próprio estabelecimento de semelhanças. No extremo oposto temos as teorias gerais, que embora altamente operacionalizáveis (em função de sua estruturação matemática) não se referem a nada especificamente pertencente ao mundo real, embora possam vir a se referir pela adição de suposições adicionais.

A inter-relação entre os três elementos acima é exemplificada no seguinte trecho:

“Quando suposições e dados especiais respeitantes a um corpo particular [objeto-modelo] são associados à mecânica clássica e à teoria clássica da gravitação [teorias gerais], produz-se uma teoria especial [modelo teórico] sobre esse corpo. Temos deste modo teorias lunares, teorias sobre Marte, teorias sobre Vênus, e assim por diante.”¹⁸

B. coloca que esse processo teórico objetiva a interpretação de parte da realidade. Porém ela é sempre complexa e seus elementos particulares. A aproximação deve então ser obtida inicialmente através de simplificações (idealizações), onde classes de indivíduos equivalentes são elaboradas. Aos elementos pertencentes a essas classes atribui-se propriedades e características, que poderão então ser tratadas pelas teorias.¹⁹ Temos o

¹⁶ idem, pag 16

¹⁷ Bunge 1973, pag 53

¹⁸ idem, pag 54

¹⁹ Bunge 1974, p. 13.

nascimento dos elementos conceituais (ou objetos-modelo), que serão enxertados em teorias gerais e gerarão teorias específicas sobre o domínio real em foco.

A força da teorização está justamente na capacidade das teorias gerais, que a princípio não dizem respeito a nenhum domínio do real, de, ao serem enxertadas desses objetos conceituais, produzirem representações da realidade, i. é modelos teórico.

Na tabela a seguir, Bunge apresenta uma lista de situações modelizadas pela ciência:

“SISTEMA	OBJETO MODELO	MODELO TEÓRICO	TEORIA GERAL
Lua	Sólido esférico girando em torno do seu eixo, em rotação à volta de um ponto fixo, etc.	Teoria Lunar	Mecânica clássica e teoria gravitacional.
Luar	Onda eletromagnética polarizada plana	Equações de Maxwell para o vácuo	Eletromagnetismo clássico
Pedaço de gelo	Cadeia linear casual de contas	Mecânica estatística de cadeias casuais	Mecânica estatística
Cristal	Grade mais nuvem de elétrons	Teoria de Bloch	Mecânica quântica” ²⁰

O objeto-modelo passa a representar os objetos–reais e o modelo teórico o comportamento deles. Nesse sentido, o modelo teórico é um sistema hipotético-dedutivo, uma máquina de gerar proposições a partir de proposições iniciais, ou seja é possível realizar previsões a partir deles. As previsões são possíveis pois, em sendo uma rede de relações dedutivas, o modelo pode extrapolar as situações para as quais foi inicialmente construído e expor propriedades e comportamentos dos objetos-modelos nele inseridos.

“Uma teoria científica é um sistema hipotético dedutivo; isto é, um sistema baseado em hipóteses, i. é, enunciados que transcendem as observações no sentido de que dizem respeito a classes inteiras de fatos, não apenas àqueles que acontece serem observáveis. “²¹

²⁰Bunge 1973, pag 53.

²¹ idem pag. 57

Na tabela de exemplos acima, a *onda eletromagnética polarizada plana* passa a ser uma representação possível do *lunar*, cujo comportamento pode ser obtido pelas relações básicas contidas na teoria eletromagnética clássica. De posse disso, explicar o comportamento de tal objeto (por exemplo, a formação de halos coloridos ao passar por uma fina camada gasosa durante a noite) assim como realizar previsões (como mostrar que a luminosidade se extingue quando a fazemos passar por um polarizador convenientemente direcionado, ou rotacionar o plano de polarização pela aplicação de um campo magnético) tornam-se tarefas possíveis através das relações ditadas pela teoria eletromagnética.

Dessa forma, fica definido que não é possível testar teorias gerais pois elas não dizem nada a respeito do mundo empírico (realidade), apesar de permitirem o estabelecimento de relações dedutivas. Apenas os modelos teóricos produzidos a partir deles podem ser submetidos ao crivo da experiência e por conseqüência serem refutados e gerarem problemas. Do mesmo modo não há sentido em se perguntar se um objeto-modelo é verdadeiro ou falso. Em sendo uma idealização mais ou menos arbitrária (em função das decisões do pesquisador), e mais ou menos vinculada aos interesses e possibilidades que a ciência tem em determinado momento, acaba por ter um status apenas convencional.

Isso fica claro nos seguintes parágrafos:

“O que se pode submeter a provas empíricas são tais modelos teóricos: as teorias [gerais] despreocupadas com particularidades permanecem **incomprováveis**, a menos que sejam enriquecidas com modelos de seus referentes”.²²

e em outra passagem

“... estritamente falando as teorias gerais não são testáveis. De fato, por si mesmas, não podem resolver problemas particulares, por conseguinte, não podem originar quaisquer **predições específicas**. Só modelos teóricos podem ser confrontados com os dados... são testáveis, e são-no em virtude de conterem objetos-modelos definidos”.²³

B. entende os modelos como capazes de representar a realidade. Mas ele vai além, atribuindo-lhes papel de *simulador* do real, ao dizer que todo modelo teórico deve, cedo ou tarde, definir mecanismos internos que dêem sustentação às relações nele existentes. Nesse sentido, as coisas *são* o modelos teórico que as representa, e sua essência passaria então a ser determinada pelos *mecanismos hipotéticos ou escondidos*, nele presentes. Ele diz:

“... cumpre considerar seriamente os **mecanismos hipotéticos**, como representando as entranhas da coisa, e cumpre dar prova desta convicção realista (mas ao mesmo tempo falível) imaginando experiências que possam pôr em evidência a realidade dos mecanismos imaginados.”²⁴

“ Uma hipótese dos **mecanismos escondidos** só poderá ser considerada como confirmada se satisfizer as seguintes condições: explicar o funcionamento observado,

²² Bunge 1974, p. 32

²³ Bunge 1973, pag. 56

²⁴ Bunge 1974, p.19

prever fatos novos além do previsíveis por modelo de caixa-negra²⁵ e concordar com a massa de leis conhecida”²⁶.

A denominação de mecanismos *escondidos* não diminui sua acepção realista, mas apenas indica que eles não são acessíveis à percepção, mas inferidos teoricamente a partir dos modelos. Como todo modelo contém uma certa dose de aposta teórica, a sua falibilidade deve ser constantemente considerada. Nesse sentido a confiança nos modelos deve ser criticamente guiada por testes e previsões. Assim, os mecanismos hipotéticos só ganhariam status de “coisas” quando pudessem de alguma forma receber confirmação empírica.

Com efeito, os modelos funcionariam como “dublês” da realidade. A proposição dos objetos-modelo com suas propriedades específicas circunscritos pelos modelos habilitariam os cientistas a abandonar provisoriamente a realidade e toda sua complexidade, e aprofundar-se nas relações internas ao mesmo. Nesse sentido, os modelos teriam valor *ontológico*, pois *seriam*, aproximadamente e provisoriamente a realidade, mesmo que circunscritos local e temporalmente.

Ainda sobre a forma de conceber os modelos, Bunge faz questão de diferenciar modelos com objeto *literais* (ou *não-familiares*) daqueles com objetos *analógicos* (ou *familiares*). Pelo fato de qualquer objeto concreto poder ser modelizado de diversas formas, ele não diferencia essas duas categorias do ponto de vista funcional: ambas classes de idealização podem ser engastadas em teorias gerais e produzir modelos teóricos. O único critério seletivo presente nesse processo é o resultado obtido com esses modelos. Dessa forma, a familiaridade ou não dos objetos presentes num modelo teórico não serve de critério para a validação de modelos, a explicação e a previsibilidade constituem-se em tais critérios. Modelos teóricos eficientes providos de objetos familiares (analógicos) são uma *sorte de caráter psicológico*, pois contentaria nossa inclinação em procurar explicar os mecanismos escondidos através de esquemas conhecidos.

Nesse ponto, B. sublinha que uma explicação não precisa ser necessariamente metafórica. Ele diz que “não rejeitaremos a explicação metafórica inteiramente: será tolerada, *faute de mieux*, no período de construção da teoria”. FF pag 129. Ou seja, uma explicação pode ser feita metaforicamente quando o problema focalizado ainda não dispuser de uma teoria específica e de objeto-modelo apropriados. Por exemplo, as primeiras teorias do calor e da corrente elétrica procuravam explicá-los a partir de analogias hidrodinâmicas: eles eram pensados como *fluidos incompressíveis*, um objeto-modelo construído para os líquidos em geral, e que inserido na mecânica clássica havia gerado modelos eficientes. A explicação é metafórica na medida em que o calor e corrente elétrica não eram tomados como um fluido incompressível, mas apenas pensados como se fossem tal objeto. Nesse caso além da metáfora, temos também uma analogia, visto que o objeto-modelo trasladado para as teorias do calor e da corrente elétrica também possui representação familiar (bolinhas extremamente duras interagindo através de choques)

Como comentário final, gostaríamos de dizer que para Bunge os modelos são a essência do próprio trabalho científico. Existiria no processo de produção de modelos, a passagem progressiva do real-percebido ao real-idealizado. Esse processo iniciaria-se pelas idealizações das situações tratadas que resultariam nos **objetos-modelos**, e terminaria pela

²⁵ A referência aos modelos de caixa-negra é entendido aqui como a mais simples versão de um modelo teórico, do qual não se conhece nenhum mecanismo interno, mas apenas relações dedutivas entre variáveis externas. Mais adiante Bunge procederá a uma classificação de modelos teóricos em termos de *caixa-negra* e *caixa-translúcida*.

²⁶ Idem, pag.21

construção dos **modelos teóricos**, que seriam as estruturas que emulariam o real através de sistemas conceituais hipotético-dedutivos. Para chegar-se a eles, é necessário a construção de **objetos-modelos** e sua incorporação numa **teoria geral**, que por ser geral não se pronuncia diretamente sobre a realidade.

Mas não se deve interpretar a obtenção de modelos como uma atividade meramente racional ou mecânica. Apesar de vincular-se aos aspectos empíricos dos fenômenos enfocados, trazidos pela observação e pelos resultados de experiências, a modelização é uma atividade criadora. Nela inserem-se as preferências pessoais, as paixões intelectuais e a bagagem de conhecimentos anteriores do cientista, balanceadas e organizadas pela *intuição pela razão*.²⁷

Segundo Bunge, “nenhuma destas componentes do trabalho científico – observação, intuição e razão – pode, por si só, nos dar a conhecer o real. Elas não passam de aspectos diversos da atividade típica da pesquisa contemporânea: a construção de modelos teóricos e sua comprovação.”²⁸

COMENTÁRIOS FINAIS

Ao introduzirmos a modelização como objeto do ensino de Física estaremos instrumentalizamos os alunos a representarem a realidade a partir das teorias gerais, e como diz Bunge sem vínculo direto com ela. A preocupação com o contexto de construção do conhecimento científico não deve ser deixado de lado, mas submetido ao objetivo maior da educação científica que é o de assegurar ao indivíduo uma melhor relação com seu ambiente. A explicitação e exemplificação das teorias físicas como algo capaz de nos fornecer um quadro da realidade, mesmo que ele seja pintado em diversos estilos diferentes, gera competição (no aspecto positivo do termo) entre as concepções científicas e as concepções alternativas. A possibilidade de comparação e a tomada de decisões de que forma representar a realidade tornarão alunos mais críticos e mais capazes de disfrutar dos *insights* que tem apaixonados pesquisadores ao longo dos tempos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Abrantes, Paulo, 1998, “Kuhn e a noção de ‘Exemplar’”, *Principia*, vol. 2, n. 1, 1998

Bunge, M. 1973, *Filosofia da Física*: edições 70, Lisboa, Portugal.

----- 1974, *Teoria e Realidade*: editora perspectiva S.A., SP, 1974

Driver, R.1979, *The pupil as scientist*. Paper presented to the GIREP conference, Rehovot, Israel, 1979.

Chevallard, Y.: 1985, *La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné*, La pensée Sauvage, Grenoble, 1985.

²⁷ idem pag 22

²⁸ idem, pag. 30

Kuhn, T. S.: 1970, *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University press, 2 edit, Chicago, EUA.

Millar, R. 1989, “Constructivisme Criticism”, *International Journal of Science Education*, 1989, 253 - 268.

Ogborn, J. 1997, “Constructivist metaphors of learning science”, *Science & Education* 6: 121-133, 1997.

Santos, Flávia, 1996, *Do Ensino de ciências como mudança conceitual à fronteira de uma abordagem afetiva*, dissertação de mestrado, CED, UFSC, 1996.