

---

# FÍSICA E EPISTEMOLOGIA HETERODOXAS: DAVID BOHM E O ENSINO DE CIÊNCIAS

---

*José André Peres Angotti*

Depto. de Metodologia do Ensino – UFSC

Florianópolis - SC

## **Resumo**

*Apresentamos proposições e convicções de David Bohm (1917–1992) bastante sugestivas para os professores de física/ciências preocupados com a melhoria dos processos e dos resultados de suas atividades, principalmente na perspectiva de ruptura com os pressupostos profissionais fundados nos fundamentos da Ciência Clássica e mesmo da Ciência Moderna e Contemporânea, bem como nos pressupostos da transmissão (ou troca) destes conhecimentos em sala de aula. Tais pressupostos, adquiridos em nossa formação inicial de graduação, freqüentemente não são explicitados, mas costumam ser bastante exercitados. Com auxílio das reflexões de Eddington, escritas logo após as revoluções científicas da Física do século XX, justificamos a imersão de pesquisadores nestas questões de natureza epistemológica. O autor principal discutido é reconhecido justamente pela natureza polêmica e criativa de suas contribuições tanto em Física como em Epistemologia, sua tendência a especular e transcender e sua perseverança em favor da pluralidade de teorias concorrentes. Das contribuições de Bohm – bastante conhecido e referenciado em diversas áreas do saber contemporâneo e quase ausente na pesquisa em ensino de Física/Ciências, destacamos a ordem implícita e o holomovimento. Com apoio na proposição de “análise temática” (Holton), discutimos as posições não ortodoxas, analogias e idiosincrasias de cientistas - professores, visando a sensibilização dos docentes para o enfrentamento destes desafios na sua formação continuada.*

## **Introdução**

*Quem observa os observadores?  
(Eddington)*

No século passado, o grupo de cientistas-epistemólogos cresceu bastante face aos desafios impostos sobretudo pelas duas teorias revolucionárias da Física. Alguns deles continuam pouco conhecidos das comunidades de investigação e de docência da área científica e tecnológica, à exceção de Kuhn e Prigogine, em parte por não se enquadrarem nos moldes toleráveis das interpretações hegemônicas da ciência contemporânea. Eddington, David Bohm, Bunge e Holton, cada um a seu modo, contribuíram para o debate epistemológico sem a devida divulgação em diversos países – Brasil incluído – e, paralelamente, junto aos grupos de pesquisa em ensino de ciências.

Segundo Eddington, um resultado de alcance amplo e perturbador provocado por uma teoria que se instala não fica restrito à esfera do seu conhecimento disciplinar. Atinge outros. A transição, para o terreno da reflexão epistemológica, de diversos pesquisadores que antes eram “somente cientistas” foi um imperativo nessa época.

*Reconhecer, ainda que formalmente, uma distinção entre a ciência, que trata do conteúdo do conhecimento, e a epistemologia científica, que estuda a natureza do conhecimento do universo físico.* (Eddington, 1946:19)

O conhecimento do universo, que antes dessas teorias era fortemente demarcado pela Física, foi expandido rapidamente para a Química e Biologia, estimulando a quebra do consenso e instalando um clima em favor de revoluções científicas também nestes campos; inicia-se as investigações da Cinética Química e da Biologia Molecular.

Foi uma época singular. Não raro, um mesmo grupo estava envolvido com a descoberta e também com as reflexões, tanto com os produtos, quanto com os processos de suas investigações. Ainda, como a época já contava com uma respeitável infra-estrutura de comunicação, que estimulava contatos rápidos e divulgação veloz, tais estudos avançaram e foram aprofundados celeremente. A essa quase simultaneidade denomino “epistemologia sincrônica”.

Daquela época até hoje, temos presenciado grande aceleração da História, porém o clima propício para a manutenção da epistemologia sincrônica parece não ter sido mantido, principalmente entre os anos 50 e 90 do último século. É provável que tenha ocorrido mais uma vitória da Ciência cada vez mais próxima e aliada da Tecnologia, clamando sempre pelos produtos de êxito, de resultados rápidos e eficazes.

Nos campos da Filosofia e da História da Ciência, temos escritos de muitos, quase todos os pesquisadores sobre os acontecimentos do século XVII na Europa. Sejam de caráter descritivo ou analítico, internalista ou externalista, consensuais ou conflitivos, constituem sempre ricas interpretações de legados.

Obviamente, os estudos são conduzidos na ausência dos protagonistas, daqueles que detonaram o processo, caracterizando “epistemologias diacrônicas”. Desse contexto, a “epistemologia sincrônica” se diferencia bastante.

Num esforço de *deslocamento* ao século XVII, ao lermos alguns originais de Newton pouco divulgados como a “Questão 31”, sua polêmica com Leibnitz sobre as origens do Cálculo Diferencial, e ao lermos as contribuições de Huygens sobre a Ondulatória em contraste com as de Newton, detectamos também, naquele período revolucionário do conhecimento, requisitos para a *epistemologia sincrônica*.

Uma indagação pertinente é: não serão as revoluções científicas um requisito contemporâneo para a intensificação das *epistemologias sincrônicas*?

A segunda guerra, a euforia dos anos subseqüentes, a instalação da época da “guerra fria”, a corrida armamentista certamente pressionaram os trabalhos científicos em direção aos *resultados*. Porém, não podemos negligenciar a forte tendência de terem sido tomadas as novas teorias revolucionárias como definitivas.

Aquela dimensão da ‘natureza do conhecimento’ parece ter sido progressivamente postergada pela comunidade científica contemporânea. Este é um dos resultados da educação científica das últimas décadas, pelo menos a profissional-especializada. Paradoxalmente, muitos profissionais críticos absorveram esta necessidade, a de se contemplar processos simultaneamente a produtos. A maioria deles, porém, parece continuar distante dos efetivos problemas de pesquisa.

Eddington defendia a proximidade da *Episteme* com a ‘ciência mesma’, uma vez que na época, para se desenvolver as teorias sobre radiação e matéria, era imprescindível uma concepção epistemológica definida, sendo esta a fonte direta dos progressos mais significativos. É gratificante esta leitura, elaborada por um pesquisador fortemente apoiado nos procedimentos experimentais. Eddington é considerado pela comunidade, dentre outras contribuições, por ter liderado medidas que foram consideradas consistentes com as previsões da teoria da Relatividade Geral.

David Bohm, protagonista mais rebelde (e mais jovem) que os pioneiros, afirmou desde os anos 70 do século XX que os físicos não têm maiores interesses sobre seus estudos. Lamenta que o ensino da Física (para os especialistas):

*decaiu muito e foi se tomando cada vez mais dogmático e mecânico; que o atual formalismo quântico foi ensinado como verdade absoluta e muitos estudantes não podem conceber nada mais.* (Bohm, in Weber, 1986:129)

Na compreensão do conhecimento que se busca, o pesquisador pioneiro incorpora os aspectos subjetivos associados ao universo descrito pelas ciências físicas, aspecto que não ocorria no início do século XX. O conhecimento:

*é parcialmente subjetivo, ainda que historicamente o caminho tenha sido outro. (Eddington, 1946:44)*

O confronto com a crença anterior na objetividade do conhecimento em Física e em Ciências Naturais evidenciou-se com os resultados das novas teorias, distintas em qualidade das anteriores, da Física Clássica. Apelando para o seu ‘subjetivismo seletivo’, embora considerando objetivo o material com o qual se procede à escolha, o autor inglês esclarece o quanto de aprendizado extraiu de seus estudos e da busca da compreensão destes, na afirmação:

*A teoria moderna, quântica, consiste em vincular, mediante equações, nosso conhecimento das posições, movimentos, etc. das partículas num dado instante, com o nosso conhecimento das posições, movimentos, etc. das mesmas partículas em instante posterior ao primeiro. A concepção clássica da Física macroscópica consiste em encontrar sistemas de equações que vinculassem posições... das partículas em um instante, com posições... destas mesmas partículas num instante posterior ao primeiro. (Eddington, 1946 :76)*

Tudo indica que essa distinção fundamental não vem sendo devidamente discutida no ensino-aprendizagem atual de Física Moderna; sua abordagem nos livros-textos, quando ocorre, não é registrada com a merecida relevância. Como resultado, temos as limitações a que Bohm se refere, um novo dogmatismo. Mesmo com os avanços das discussões epistemológicas dos últimos anos, ainda não é consensual, nos cursos de graduação em Física do país – Licenciatura e Bacharelado, a oferta de pelo menos *uma* disciplina de cunho *epistemológico*.

Ora, não será esta lacuna um dos problemas da Educação em Ciências e Tecnologia? Critica-se muito o ensino dogmático da Física Clássica, associado ao dogmatismo de suas teorias. Entretanto, critica-se pouco o ensino dogmático também, para as teorias revolucionárias – Relatividades Restrita e Geral, e Física Quântica, ainda ensinadas para muito poucos. A relação entre Ensino de Física e conhecimento em Física neste segundo caso é muito mais dissonante, assimétrica, contraditória enfim, em que pesem diversos esforços, proposições e experiências de ensino introdutório de Física Moderna e Contemporânea, advindos sobretudo dos Programas de Pós-Graduação em Educação/Ensino de Física-Ciências do país.

Assumimos que questões e problemas do ensino de CN estão presentes desde o ensino fundamental até os níveis mais avançados da pós-graduação, etapa que seleciona e credencia novos participantes dos programas de pesquisa.

Perguntamos, como Eddington fez em relação aos observadores-cientistas:

- Quem forma os formadores?

- Quem treina os treinadores?

Por que os modelos que privilegiam a matéria, energia concentrada, prevalecem sobre os de ondas, energia distribuída, na grande maioria das disciplinas de Física introdutória, mesmo nos cursos iniciais de graduação?

- Procedimentos analíticos são mais potentes para uma melhor compreensão de Ciências e sobre Ciências? Ou sua preferência no ensino acompanha uma tradição respaldada pela Ciência Clássica?

O que mais ficou associado ao pensamento de Eddington é sua expressão da consciência enquanto *estofo mental*. Essa pista desafiou cientistas-epistemólogos que passaram a questionar mais a neutralidade e a objetividade pura do empreendimento científico e incluir em suas reflexões elementos outrora rejeitados pela comunidade, usualmente classificados como metafísica inútil. Eddington persegue a fusão matéria-consciência contemplando o universo das formas/ondas e curvaturas emergidos das teorias quântica e relativística, sem ter se convertido ao misticismo.

Escreveu:

*Consideramos as raízes comuns de conhecimento científico e de todos os demais conhecimentos. O único material de estudo que se me apresenta é o conteúdo de minha consciência. (Eddington, 1946:267)*

Para além da consciência individual, extrapola para um domínio externo, de ressonância, pois:

*Ao reconhecer a existência de outras consciências equivalentes às nossas próprias, somos obrigados a aceitar a existência de um domínio fora das consciências individuais. (Eddington, ídem: 287)*

A prevalência do pensamento sobre a linguagem, também de acordo com Piaget, principalmente o Piaget daquela época é igualmente um traço desse autor, que considerava ser a expressão verbal um indicador que assinala para o conhecimento mas que dele não faz parte.

Essa dicotomia é de difícil sustentação atualmente depois das contribuições de autores como Vygotsky (1987) e Bernstein (1971), que correlacionam fortemente o papel complementar entre linguagem e pensamento, sem aprisionar aquela aos moldes deste. David Bohm, que passaremos a discutir e que sofreu influência de Eddington, também se preocupa com o papel da linguagem em nosso pensar tendo chegado a propor um novo código, mais dinâmico e aberto a transformações para a linguagem dos homens do ocidente.

Nesta dinâmica de pensar e de ler o mundo com nossos modelos, Eddington foi um dos evolucionários pioneiros. Com publicações singulares sobre a evolução do universo, a degradação da energia e o crescimento da entropia, abriu caminhos para as questões instigantes de Bohm e e também de Prigogine. Sua expressão hoje universal da 'seta do tempo', deflagrou um processo para alguns se contraporem às visões estáticas do mundo, ao tempo reversível de Newton, à Termodinâmica dos processos próximos ao equilíbrio, mesmo dentre os cientistas do século XX.

A condição de astrônomo de ponta, de físico experimental, levou Eddington a se dedicar aos estudos evolucionários do universo, com destaque para o conceito de tempo e sua relação com as grandezas energia e entropia.

A relação difícil mas sempre presente, mesmo implicitamente, entre fragmentação e totalização está nos comentários e citações de Eddington, nas contraposições entre análise e síntese, linearidade e estruturtação, evolução e 'multiplicação'. Sobretudo no embate entre matéria e consciência.

No trabalho de David Bohm constatamos urna efetiva explicitação deste conflito, uma clareza e determinações maiores, que passaremos a discutir.

## **Ordem explícita e ordem implícita**

David Bohm parte do princípio de que a abordagem fragmentária do mundo estimula o homem a atuar nessa direção, a de 'tentar quebrar de próprio o mundo', de maneira a tudo parecer um reflexo, uma correspondência dessa maneira de pensar. Em contrapartida, afirma:

*Na verdade, o homem sempre esteve procurando totalidades, no plano físico, mental, social e individual. (Bohm. D. 'Wholeness and the Implicate Order', Routledge & Kegan, Paul – London, 1980:03, tradução nossa)*

Mantido o princípio acima como 'certa tendência humana de busca', o conflito *com* o procedimento fragmentário-analítico, fundamental para as CN, para outras Ciências e para a Tecnologia, está sempre colocado, ainda que de forma sutil e dissimulada. A revolução que o pensamento científico imprimiu nas sociedades é de uma ruptura sem precedentes, de convivência não fácil com aquela 'tendência humana'.

Um dos perigos que a prática fragmentária acarreta, no pensamento do autor, é a confusão entre aquilo *que parece ser com o que é*, muito comum até entre os profissionais com formação em C&T. Para ele,

*...fragmentação está sempre presente, pelo hábito quase universal de tomarmos o conteúdo de nosso pensamento por uma descrição do mundo como ele é. (Bohm, 1980: 03)*

O cuidado epistemológico considerado por Eddington é levado muito a sério por Bohm, que critica a prática de se fazer ciência sem a necessária busca da compreensão simultânea ao conhecimento que se busca.

A fusão, ou pelo menos o imbricamento entre matéria e consciência é quase uma evidência para Bohm. Esta condição limite do pensamento holístico, este obstáculo epistemológico será cada vez mais enfrentado na seqüência que daremos sobre o conflito entre partes e todos.

Evocando as 'categorias do pensamento' inicialmente propostas por Kant, Bohm reforça que tais categorias, enquanto formas gerais de 'insights', são espécies de teorias. A palavra 'teoria', originária do grego (theoria) -tem a mesma raiz da palavra 'teatro' e também da palavra 'deus'. Qualquer teoria então caracteriza formas de pensamento, maneiras de olhar o mundo e de representá-lo, ao contrário de uma revelação de como é o mundo.

A interação do sujeito com o objeto no enfrentamento do homem com o real, é um pressuposto do autor. Para ele, experiência e conhecimento coexistem num único processo; este não pode ser caracterizado independentemente daquela.

Esta opção deixa clara a não dicotomia entre o sujeito cognoscente/epistêmico e o objeto copioscível contemplados coletivamente. Ela se contrapõe à vertente lógico-empirista, ainda muito marcante junto às maiorias que lecionam CN, mesmo quando algumas inovações propostas são incorporadas. A 'ciência da escola' parece ainda não ter se dado conta desta diferença.

Dada a prioridade que Bohm assume para os aspectos das totalidades, de seu conceito de teoria como representação ou modelo, a

*importância das novas teorias da Física Moderna que, por contemplarem a natureza universal da matéria que constitui tudo, o espaço e o tempo onde todo o movimento da matéria é descrito (Bohm, 1980:10)*

é decisiva, por serem as teorias mais generalizadas. Contudo, não são definitivamente verdadeiras, até porque Bohm e dos pensadores mais críticos em relação à uma delas, a teoria quântica.

Em contraposição ao atomismo, que favorece a cristalização do pensamento fragmentário, Bohm argumenta que são preferíveis, para alguém que observa seu mundo como uma sucessão interminável de fluxos e processos, aquelas teorias mais recentes. Adepto dos mais radicais ao pensamento de Heráclito e

combatendo a hegemonia da contribuição de Demócrito, o autor em destaque alerta que:

*observador e observado fazem parte de uma só realidade que é indivisível e não analisável de acordo com a Física Quântica (...); na Relatividade, o postulado do limite da velocidade da luz líquida com o conceito de corpo rígido, um conceito crucial para a teoria atômica. (Bohm. 1980:09)*

Como as teorias atômicas são mais limitadas e o universo das teorias do século XX requisitam que o mundo indivisível seja considerado, Bohm propõe modelos de 'tubos ou vórtices' onde a matéria está impregnada por mútuas influências num fluxo universal, não dissociada da consciência. Aqui temos um avanço em relação às proposições mais implícitas de Eddington. Quando se refere à 'matéria', Bohm não está restrito ao conceito clássico de solidez/permanência. Ainda, com relação aos legados dos gregos, dentre as fontes indicadas por Aristóteles no problema da causalidade (material, eficiente, formal e final), Bohm estabelece associação entre a causa formal, por ele chamada de formativa e a final.

Ele assume o forte componente teleológico em sua reflexão e dá enorme importância aos aspectos 'formativos', conseqüentemente à análise não material ou ondulatória dos campos e funções de estado. A causa final para ele não é somente algo que pode estar relacionado a Deus, ao 'design'. Pode estar comprometida com algo interno, implícito, não percebido de forma consciente. É a busca de fundamentação para postular a sua 'ordem implícita'. Proposição chave em sua cosmovisão e suas teorias a partir dos anos 70 do século passado.

Como que adiantando a reação negativa de seus críticos dada a característica pouco ortodoxa de seus argumentos, o autor, muito respeitado pelos pares na condição de físico criativo, alerta:

*A tendência fragmentária é tão enraizada e 'natural' que, mesmo com as novas evidências da Relatividade e da Física Quântica, a regra é ignorar ou minimizar as reflexões distintas."(Bohm, 1980:15)*

Reflexão bastante distinta, que por isso mesmo encontra forte resistência na comunidade. Brockmann (1989) lembra que, em particular, a reflexão de Bohm parecia penetrar bastante junto a jovens cientistas e esta influência já se fazia presente em diversos campos distintos da Física e Weber (1986) testemunhou a reverência de colegas cientistas ao mestre Bohm cientista por ocasião de uma breve visita aos Estados Unidos, depois de vinte e cinco anos de ausência; testemunhou também a desconfiança dos mesmos colegas quando de suas palestras a leigos, expressas em linguagem comum e fazendo aproximação de suas idéias com o misticismo oriental.

Talvez por estarem menos presos a paradigmas os jovens cientistas procurem alternativas, ao contrário daqueles que já optaram pelos seus referentes. Persistindo contra o valor excessivo das teorias de natureza atomística, o autor assinala:

*A totalidade é que é real, a fragmentação é a resposta desta totalidade à ação humana, guiada pela percepção ilusória que é formatada pelo pensamento fragmentário.”*

*(Bohm. idem: 06)*

É interessante constatar a ressonância desta afirmação com as de muitos pesquisadores que recentemente vêm prestigiando a inter a a transdisciplinaridade. Desconfia-se da dimensão animista do universo das totalidades. Ele (O universo) responde de modo fragmentário às nossas ações, quando nos aproximamos dele com abordagem recortada. Para Bohm, se mudarmos as abordagens, optando pelas totalidades, as respostas poderão ser outras. Contudo:

*“Pode-se dizer que no presente estágio da sociedade e na maneira com que se ensina ciências, que é uma das manifestações deste estágio, uma espécie de preconceito a favor de uma autovisão fragmentária do mundo é fortalecida, às vezes explícita e conscientemente, em geral de maneira implícita e inconsciente.” (Bohm, 1980:15)*

Alertando para o excesso de fragmentação prevalente na pesquisa, para as teorias como formas de "insights", que podem apontar para uma realidade não descritível, nosso autor não deixa de relativizar também a sua representação, pois:

*ela não é (a teoria) a verdade absoluta sobre o problema, ao contrário é uma teoria que fornece algum 'insight' ao problema.*  
*(Bohm, 1980:48)*

A permanência de várias representações e de teorias alternativas em concorrência é o ponto de vista defendido por Bohm: as visões de grupo, blocos, interesses, seriam menos características nas lutas internas ao empreendimento, com um caráter menos paradigmático, por consequência, menos dogmático. Semelhante argumento encontramos em Feyerebend (1984), para quem a Ciência é anárquica, e também em Stengers (1990), para quem a Ciência atual é muito mais conflitiva que a dos séculos XVII a IX.

Na publicação Ciência, Ordem e Criatividade (Bohm e Peats, 1989), este aspecto é bastante discutido. Contra a pressão da “Navalha de Occam”, argumenta pela criatividade e pelo pensamento como um jogo livre que podem contribuir para

avanços significativos em CN, ao contrário dos *paradigmas* (Bohm e Peats, 1989:75/82).

Mas o que deve ser feito para se acabar com esta prevalência da fragmentação no seu jogo com a totalidade? Tomando a questão pelos seus pressupostos, Bohrn alerta para não introduzirmos novas formas de fragmentos ao tentar respondê-la, porque:

*Um dos pontos mais difíceis e sutis desta questão é justamente esclarecer o que se deve atingir através da relação entre o conteúdo e o processo de pensar que o produz. (Bohm, 1980: 18)*

À semelhança dos pares conhecimento-experiência, observador-observado, aqui o esforço se dará pela abordagem conjunta do conteúdo-processo, na sua totalidade. Procurar a causa formativa da fragmentação é o desafio.

Na linha dos pensadores que priorizam os processos, o autor evoca a realidade assim tomada, de Heráclito a Whitehead, radicalizando:

*Não somente tudo está em mudança mas tudo é fluxo, ou seja, o que é o processo de vir a ser em si, enquanto objetos, eventos, estruturas, são formas que podem ser abstraídas desse processo. (Bohm, 1980:48)*

Longas polêmicas e controvérsias acompanham as declarações e argumentos de Bohm nos últimos anos. Felizmente, a difusão de suas contribuições vem crescendo no Brasil, a exemplo do evento *Simpósio David Bohm* promovido pelo Instituto de Física da USP em 1998 e das investigações de Freire Jr sobre o seu *programa causal para a Física Quântica*, repercussões, adesões, divergências, mudanças de trajetória e de interlocutores ao longo da carreira (Freire Jr, 1999). Mas ao que parece, na sub-área do ensino-aprendizagem de ciências, estamos não raro distantes de questões desse porte, daí ser importante a apresentação de suas idéias.

Suas contribuições hoje comprovadas a exemplo do efeito Bohm-Aharanov, que permite a obtenção de hologramas através de interferência de elétrons, impensável há poucos anos ainda são pouco conhecidas pelo público não especializado em Física. Talvez serão no futuro breve pelo lado da C&T dos resultados, justamente o que ele mais critica.

Ainda que de modo polêmico, sem ter abandonado uma posição *realista*, as formulações do autor estão garantidas pela sua interpretação para as “teorias”. Seu alerta e sua crítica profundos instigam cientistas e professores de CN a suprimirem seu conceito rígido de 'objetividade'. Se está comprovado que existem “conexões não locais entre partes microscópicas, um desdobramento incômodo implicará em

redirecionar ou até remover nosso pressuposto da possível separação atomística de partículas, tanto espacial quanto temporalmente.

Os construtos “potencial quântico”, “ordens implícitas e superimplícitas” muito bem apresentados e discutidos em sua obra mais recente e já traduzida (Bohm, 1989), bem merecem ser apreendidos por todos os envolvidos na pesquisa e no ensino de CN. Ainda que não diretamente aplicáveis em sala de aula, tais contribuições podem nos estimular a buscar alternativas adequadas e válidas para a melhoria do ensino e da aprendizagem de Física/Ciências.

Argumentar que a teoria que postula as ordens implícitas ainda não atingidas está errada (o que pode ser equivocado porque a formulação bohmiana para a Física Quântica é considerada correta, embora sem potência suficiente para um alto índice de receptividade), em nada retira a contribuição do autor; ao contrário,

*encontrar tais erros é um dos mais importantes meios de se fazer progresso em ciência. (Bohm, 1984:31)*

Novamente aqui temos a salutar despreocupação em perseguir obsessivamente uma “ciência de rápidos resultados”.

A divulgação das propostas holísticas de Bohr, bem como seus diálogos com sábios e religiosos orientais foi intensificada no Brasil pela publicação de Weber (1986) e outros. Como a discussão se dá pelo fio condutor da 'busca da unidade', o reconhecimento da validade das partes, pelo autor, fica relativamente prejudicado. Tal reconhecimento está explícito na citação a seguir:

*Existem contextos relativamente autônomos que podem ser estudados separadamente em algum grau de aproximação, o que dispensa estudarmos tudo com precisão perfeita. (Bohm, 1984:32)*

As chamadas 'leis naturais' têm características que garantem o fator objetivo que determina a divisão de mundo, os recortes entre as várias ciências e outras áreas de saber, segundo o autor. Registramos que ele está sempre bem distante das proposições ingênuas de totalidades superficiais.

O conhecimento como processo é também uma abstração do fluxo total que é o substrato para ambos, tanto a realidade como o conhecimento dessa realidade. Aproximando-se da “consciência - estofo mental” de Eddington, nosso autor argumenta que:

*O pensamento, considerado no seu movimento de vir a ser, é efetivamente o processo no qual o conhecimento tem sua real e concreta existência. (Bohm, 1980: 177)*

A incorporação dos aspectos dinâmicos dos modelos para a natureza é permanente em Bohm, que se baseava também nos estudos recentes da

termodinâmica dos processos irreversíveis. Estão incluídos ‘o tempo e a irreversibilidade’ na concepção de fluxo total. Trata-se de uma dupla palavra densa, tanto pela conotação dinâmica de fluxo (na qual a concepção newtoniana é apenas uma aproximação), como pela de totalidades (não acabadas, conectadas intimamente às suas partes e a totalidades outras de ordens superiores, superimplícitas).

Essa profundidade na reflexão, esse debate rico a nível epistemológico ainda não vem tendo reflexos regulares no ensinar-aprender CN no Brasil. Se nos propomos a caracterizar o estado da arte, teríamos que admitir, ao lado dos avanços desejáveis em favor dos processos sem negligenciar os produtos de C&T, uma forte tendência ainda presente, do tipo que descreve um mundo ‘parado aos pedaços’, uma dupla antítese da expressão de Bohm.

Creditando especial interesse às mudanças revolucionárias das teorias da Física, Bohm ressalta que elas sempre envolveram a percepção de novas ordens e de novas linguagens para a comunicação e o debate dessas novas ordens. Tais afirmações (Bohm, 1980: 111) muito se assemelham às de Bachelard, por sinal anteriores, quando este fala sobre o ‘novo espírito científico’. Bohm escreve:

*Eventualmente, um novo espírito científico aflora na pesquisa científica, que leva ao questionamento da relevância de uma velha ordem. Por exemplo, Copérnico, Kepler, Galileu. (Bohm, 1980: 110)*

O autor se baseia também, como a grande maioria dos epistemólogos, na História da Ciência para subsidiar suas idéias e propostas. As novas ordens são seriamente consideradas, uma vez que, para as percebermos, devemos estar atentos às ‘diferenças similares e às similaridades diferentes’.

Nesta classificação de sintonia fina, que extrapola o clássico par ‘semelhança-diferença’ da imensa maioria dos autores, Bohm evidencia a natureza dialética de sua reflexão heraclitiana. Conseguir introduzir negativas em conceitos que normalmente encaramos somente pela positividade, como na semelhança e na diferença, é um grande avanço. Exemplos didáticos das ordens apresentadas em diversos graus, nas perspectivas de *semelhança na diferença* e *diferença na semelhança*, em processo de *analogia geométrica* muito acessível original do próprio autor, podem ser localizados na obra de 1989 e serão ilustrados sucintamente a seguir.

## **Representação formal de ordem**

As categorias “semelhanças na diferença e diferenças na semelhança” são ilustradas a seguir e facilitam uma melhor compreensão das 'ordens de Bohm'.

Uma relação constante entre segmentos - a semelhança - pode ser diferente em distintas ordens, a saber:

## Fig

Temos na Fig.1 uma curva de primeira classe, com diferença de primeiro grau, pois somente a posição dos segmentos é distinta. As proporções  $a/b$ ,  $b/c$ ,  $c/d...$  são constantes, e os segmentos estão alinhados.

## Fig

Na Fig. 2, temos uma diferença na direção, além da de posição. Proporções ainda constantes na razão entre os segmentos, mas *diferença de segundo grau*, urna *curva de segunda classe*.

Uma circunferência (Fig.3) pode ser aproximada a uma sucessão de pequenos segmentos iguais, em ângulos também iguais. Portanto, uma curva com muita semelhança e poucas diferenças.

### Fig.3

### Fig4

Em três dimensões, mantida a semelhança, podemos ter diferença de terceiro grau, com uma formação em hélice (Fig.4).

Em todos os casos, há uma similaridade nas diferenças: razão constante entre os segmentos.

Simultaneamente, podemos também considerar as diferentes *semelhanças nas diferenças*. A Fig.5 é urna cadeia de segmentos em diferentes direções.

### Fig 5.

Escrevemos sobre a primeira linha (abcd)

$ab^{S^1} :: b:c$

onde o símbolo ( $S^1$ ) caracteriza a primeira espécie de semelhança, aquela da direção. Para as linhas seguintes, escrevemos:

$e:f^{S^2} :: f:g \quad h:i^{S^3} :: i:j$

onde, da mesma forma, os símbolos ( $S^2$  e  $S^3$ ) caracterizam respectivamente as *semelhanças de segunda e terceira espécies*. Podemos então considerar as diferenças de *sucessivas semelhanças* ( $S^1 S^2 S^3 \dots$ ) como um *segundo grau de diferença*. Assim, podemos desenvolver um segundo grau de similaridades nessas diferenças que é:  $S^1; S^2 :: S^2; S^3$  (ângulos iguais apesar da mudança de direção).

Ao introduzirmos o começo de uma hierarquia de similaridades e diferenças, podemos prosseguir até curvas de 'altos graus de ordem', arbitrariamente. Estamos então mais aptos a apreender o construto espectral de ordem que Bohm propõe e utiliza em suas teorias e modelos.

Para graus indefinidamente altos, descrevemos as curvas comumente chamadas de 'caóticas', como as encontradas no movimento browniano. Para Bohm, este tipo de curva não é determinado por nenhum número finito de passos. No entanto, não seria apropriado chamá-lo de "desordenada", porque tal denominação descaracterizaria a possibilidade de estarmos diante de alguma ordem complexa. A afirmação "caótica ou desordenada" obstrui a conceituação de uma "ordem de qualquer espécie", ainda desconhecida.

A "ordem fractal" é um exemplo que elucidava o que Bohm sugeria, anteriormente à descoberta dessas 'novas ordens'. Existem regularidades que Bohm classifica de 'ordens generativas', mais próximas da descrição da natureza do que as figuras geométricas tradicionais (triângulos, circunferências). Dos fractais, mesmo com mudanças de escala, verificam-se invariâncias que se ajustam a muitas formas da natureza (como flocos de neve, deltas de rios, costas). Segundo ele,

*algo mais próximo da ordem fractal poderá ser um ponto de partida apropriado para se discutir a natureza de modo muito mais geral e para obter melhores descrições formais dos processos da física e da biologia. (Bohm, 1989:205)*

Ressaltamos que esses ramos de investigação são bem recentes, posteriores às proposições de Bohm, aos seus primeiros escritos direcionados para uma distribuição espectral, na analogia pertinente, de ordens.

Como é bastante comum a associação que fazemos entre ordem e previsibilidade principalmente devido à nossa formação pautada pelo determinismo, Bohm nos alerta que seu conceito de ordem não deve ser identificado com previsibilidade. Esta é uma propriedade das ordens de primeira espécie, aquelas onde poucos passos determinam a ordem total; os fenômenos associados aos modelos simples das teorias clássicas.

Para Bohm, os fenômenos da natureza são reais (“obviedade” que precisa ser lembrada, para nos alertar e nos libertar da confusão entre Ciência e Realidade), irreversíveis, cujos modelos prescindem de ordens complexas e sutis. Em essência, estas não estão relacionadas à previsibilidade. Bohm se refere a contribuições do campo artístico para esclarecer esse ponto; por exemplo com pinturas. Sendo de boa qualidade, uma pintura é altamente ordenada, embora esta ordem não permita a previsão de uma parte do trabalho a partir de outra (Bohm, 1989: 218/226; Bohm, 1980: 115/118)

Esta insistência custou ao autor muitas incompreensões. Alguns que trabalham as mesmas questões sob o prisma da 'desordem ou da ordem a partir do caos', como Prigogine confessam não compreendê-lo completamente e insinuam que procura transparência onde há opacidade, apostando, no fundo, na previsibilidade (Weber 1986: 234/235).

Nossa leitura é pela não correlação entre ordem e previsões, tão característica da Física Clássica. As diferenças de concepção estão, muito provavelmente, nas dimensões 'metafísicas', ou *temáticas* (no sentido atribuído por Holton) dos pesquisadores que abordam o conflito entre fragmentos e totalidades. Afirmamos que Bohm acredita em 'ordens implícitas' e constrói argumentos para sua teoria. Prigogine acredita que 'o futuro não está lá', que 'tempo é criação', e também constrói argumentos para sua teoria. Está aqui no foco do problema de nossa discussão, um exemplar de “*diferença na semelhança*”.

Claro que a maioria insiste em não aceitar discutir "totalidades, holismo e interdisciplinaridade, porque, dentre outros motivos, “a pesquisa é longa e a vida, curta”. De certa forma, toda a vida escolar, em especial a graduação na especificidade e o início da profissionalização acrescentam aderências, às vezes tatuagens cerebrais, dificilmente removíveis. Talvez sejam irremovíveis para a grande maioria ao longo da vida madura.

O discutido aqui não exclui as diferenças de pontos de vista entre homens de mesma formação original, por exemplo entre os físicos, onde se localizam excelentes exemplos de 'diferenças na semelhança'. O célebre debate entre Einstein e

Bohr sobre a interpretação probabilística da Teoria Quântica, incorporando a luta milenar entre 'Apolíneos' e 'Dionisíacos', está sempre presente, na especialidade.

Voltemos a Bohm. Do conceito espectral de ordem, o autor avança para o de medida, um instrumento crucial e demarcador do campo das CN.

Cada uma das subordens encerra um limite. Por exemplo, no triângulo da figura, temos que a linha FG é limitada pelas linhas do triângulo ABC, cada uma delas composta por ordens de segmentos – como nas figuras anteriores - que alcança seu limite no extremo do segmento BC.

Fig.6

## **Etimologia das ordens, medidas e estruturas**

Nos tempos antigos o significado físico de 'medida' era 'fronteira ou limite'. Neste sentido, cada coisa podia ser considerada como tendo sua própria medida. Pela etimologia, Bohm localiza uma dimensão interna da noção de medida, estendida por ele às criações artísticas gregas, em particular as tragédias. Nestas, sempre que o homem, ou o comportamento humano, extrapola suas 'próprias medidas', o resultado é trágico. Com efeito, até hoje convivemos com máximas que permeiam a cultura de vários povos, se não todos, sobre os desequilíbrios e a infelicidade dos homens que 'rompem com suas próprias medidas'.

Em latim, originalmente temos a ligação de 'medicina' com 'mederi' (que significa 'curar'), derivada de raiz que significa também 'medida'. Isto implica que a saúde está sempre associada ao manter-se tudo na medida certa, no corpo e na mente.

Semelhantemente, a sabedoria estava associada à 'moderação' e à 'modéstia', cuja raiz comum também é derivada de 'medida'. Daí também a sugestão, a máxima que qualifica como sábio o homem que mantém tudo, ou todas as coisas, na medida certa.

Atualmente é compromisso obrigatório a especificação da medida através de proporção ou razão; entretanto Bohm adverte que na compreensão antiga tal especificação era entendida com significado secundário. Assim, nessa leitura, a especificação não precisa ser estabelecida em proporções quantitativas. O exemplo dos dramas e tragédias dispensa qualquer relação numérica.

Nos tempos modernos, sobretudo depois da Ciência e da Tecnologia modernas, o aspecto da proporção quantitativa e das relações numéricas, que também havia entre os gregos, passou a ser muito mais enfatizado que anteriormente. Talvez seja mesmo um dos frutos de C&T, um preço, a ser pago pela modernidade. Mesmo assim, na dimensão externa de medida (com o sempre necessário padrão), a noção de limite ou fronteira está sempre presente. Por exemplo. na construção de uma escala

de comprimento, estabelecemos divisões que são, em essência, os limites dos segmentos ordenados.

Dos conceitos tomados de 'ordem e medida', Bohm prossegue para o de 'estrutura', concebido como desenvolvimento daqueles. Faremos aqui a caracterização desse conceito segundo o autor, dadas as inúmeras concepções sobre ele, já que estrutura é exemplo típico de polissemia. Compreendem-se alguns como mais voltados para as estruturas externas do mundo (Brunner 1970); outros como mais voltados para as estruturas internas (Piaget, 1975). Nossa leitura de Bohm, em termos epistêmicos, compreende o conceito de estrutura na indissociabilidade do sujeito com o objeto, portanto do externo com o interno, por extensão, da matéria – viva ou não – com a consciência. O coletivo de Bohm não é apenas o homocêntrico, o sociológico, nem o biológico, é o cosmológico. A matéria não viva, na sua 'visão', carrega uma protoconsciência e a matéria viva não humana uma espécie de protointeligência.

A noção mais ampla de medida trabalha em conjunto com a noção de ordem. Esse conjunto leva, nos contextos mais amplos e complexos, à noção de estrutura. O simples triângulo que serviu de exemplo para correlacionar medidas com limites e ordens, só se configura pela composição de suas linhas, graças a uma noção mais complexa, quando nos apoiamos em algum conceito de estrutura. É exemplo semelhante ao de 'um amontoado de tijolos, madeira, metal', espacialmente arranjados, de maneira a formar 'uma casa'. A estrutura é mais complexa que o amontoado, como Poincaré já afirmara. A 'casa de Bohm', contudo, está sempre em construção-reconstrução.

Etimologicamente a raiz latina *struere* indica como significado essencial o de construir, crescer, envolver. Hoje a palavra é tratada como substantivo, mas o sufixo latino *ura* significa 'a ação de se fazer algo'. Para enfatizar que não esta se referindo a um 'produto acabado', ou a um resultado final, Bohm cunha um termo, que em português pode ser entendido como 'estrutar' ('to strutate'). O significado muito preciso do neologismo é o de 'criar e dissolver' o que nós hoje chamamos de 'estrutura', dada sua conceituação mais voltada para o estático e acabado. A 'estrutuação' (*structation*) fica, portanto, descrita e entendida pelas ordens e medidas, conceitos tomados no sentido etimológico das raízes e das concepções mais antigas, em direção alternativa à de seus sentido métricos atuais. A 'estrutuação' implica as 'totalidades harmonicamente organizadas' de ordens e medidas, ambas hierárquicas pois construídas em muitos níveis, daí espectrais. Também extensivas, pois espalhadas em cada nível, sujeitas a sintonia fina em cada ponto - mancha do espectro.

Podemos pensar que todas os aspectos de uma estrutura encerram o 'trabalho conjunto' de maneira coerente, uma vez que a raiz grega de 'organizar' é 'ergon', baseada em verbo que significa 'trabalhar'.

É importante ressaltar a propriedade essencialmente dinâmica da natureza da 'estruturação', na matéria inanimada, nos seres vivos, nas sociedades, na comunicação humana. Bohm utiliza o conceito, ainda que implicitamente em publicação mais recente, com ampla valorização da criatividade, associada a ordens e estruturas (Bohm, 1989).

Cada espécie de estrutura está limitada por suas bases de ordem e medida. Novas ordens e medidas levam à consideração de novas estruturas, Exemplos podem ser constatados na música, onde novas ordens de notas e novas medidas de ritmo, escalas, criam novas estruturas musicais. Na pintura, o autor localiza ordens, esquemas, estruturas, como já comentamos (Bohm, 1989).

A História da Física evidencia o quanto novas ordens e medidas tornaram e tornam possível a consideração de novas estruturas em escalas as mais distintas. Bohm analisa detalhadamente estas correlações tanto na Física clássica como na moderna.

## **Holonomia e holomovimento**

Dispensando maior atenção aos resultados e interpretações da Teoria Quântica, Bohm indica o que, dos pressupostos esta teoria, reforça sua proposição teórica. Para ele, é fundamental a não separação das partes divididas. Considera uma totalidade indivisível, onde o instrumental-observador não está separado do 'objeto-observado'.

Das suas idéias iniciais de “movimento em fluxo” e dos padrões de interferência de fótons que resultam em 'hologramas’, 'imagens não planas' dos objetos, o autor propõe o seu HOLOMOVIMENTO. Esse conceito baseia-se também na totalidade indivisível da 'lente e do holograma'. Quando iluminado em suas partes ou pedaços, qualquer holograma mostra a totalidade da imagem, ainda que com perda de detalhes e de nitidez (Bohm, 1980:146).

A concepção veiculada por processo analógico é um excelente instrumental didático, porque associada a material que se torna cada vez mais disponível, macroscópico. A base quântica da concepção é mais sofisticada, por isso mais difícil de ser discutida, A holográfica, não é.

Com auxílio da analogia holomovimento, somos desafiados a considerar que as partes também encerram os todos. Há alguma perda de detalhes, mas isto ocorre efetivamente: rasgamos uma fotografia, separamos os pedaços e perdemos o conjunto; rasgamos um holograma, ou tapamos uma parte e ao observar, continuamos vendo o conjunto holográfico. Este ensaio é fácil e acessível; já que hologramas têm sido impresso em revistas. De alguma forma, as partes estão comprometidas com seu passado, com o seu conjunto, com a totalidade do 'holomovimento' de onde vieram.

A separação total, o isolamento 'adiabático' dos fragmentos é pretensioso demais, um procedimento que Eddington já criticara no seu tempo.

No exemplo recorrido, a lente é um caso-limite de um holograma, bem como a fotografia. No padrão de interferência que constitui o holograma, cada região está comprometida com toda a estrutura, estão nele as ordens, medidas e estrutura, trabalhadas conjuntamente.

Como o

*holomovimento é indefinível e imensurável, não faz sentido tentarmos uma “teoria fundamental” na qual todo o conhecimento em Física (também em outras áreas), pudesse ter uma base permanente. Cada teoria trabalha uma abstração limitada a algum contexto, onde é relevante, (Bohm, 1980:151)*

não se pode negar, mesmo para alguém que priorize as totalidades, o valor da fragmentação. Pelo menos nas limitações dos alcances de teorias ela tem sido fundamental. Nosso compromisso, ao planejarmos o ensino, identificarmos e selecionarmos critérios para escolha de conteúdos e métodos mais apropriados e na docência seguramente contemplará assuntos/tópicos/conceitos/estruturas do conhecimento demarcados: a fragmentação, o imperativo do aqui e do agora, mas a consciência do compromisso das partes com o conjunto, o holograma dos tópicos escolhidos no plano didático-pedagógico, vinculados ao holograma das teorias que lhes dão suporte. Por um lado, as 'teorias atômicas', que resistem ao movimento em fluxo, ancoradas nas menores partículas idênticas, são mais pobres; por outro, as que se desgarram desse compromisso, que reconhecem a fluidez das partes, são mais ricas. Esta diferenciação constitui um marco essencial do pensamento de Bohm.

A fragmentação está sempre associada ao triunfo do pensamento científico. Este conquistou generalidades que, por envolverem novas ordens, demandam novas linguagens e novas estruturas, Como consequência, a profundidade obtida pelo processo de investigação analítico/fragmentário da especialidade alcança totalidades antes inatingíveis. Depois de um tunelamento, abre-se nova paisagem.

As mudanças revolucionárias da Ciência, em particular da Física, tomadas invariavelmente pelos epistemólogos são também evocadas por Bohm, que declara:

*A ordem de movimento da maçã (em queda livre) é a mesma para a Lua e a mesma para tudo. (Bohm, 1980:114)*

A nova linguagem de Newton (para quem a soma das partes sempre corresponde ao todo) se apóia também na matemática por ele criada (o cálculo diferencial) para explicitar sua nova ordem, A teoria da gravitação consiste em nova estrutura, de caráter profundo, revolucionário, não raro ainda muito caricaturada,

empobrecida nas salas de aula de Física. Para Bohm, a conquista é também poética. Como do grego a raiz *poien* significa “criar”, a percepção de novas ordens é um “flash de um insight” profundo, essencialmente poético. Aqui o autor não se refere aos aproveitamentos utilitários e pragmáticos da contribuição newtoniana, embora o faça em outros comentários, mesmo em relação ao utilitarismo das novas teorias revolucionárias posteriores, como já vimos.

A ordem implícita proposta é urna resposta a essa sucessiva evolução marcada por saltos ou descontinuidades que caracterizam o pensamento científico.

É fundamental aqui ressaltar o caráter evolucionário da proposição de Bohm, uma vez que estamos procurando alternativas para o ensino de CN e de Física. preocupados em não fechar aberturas para novos conhecimentos e indagações. Do contrário, correremos grande risco de adotar modelo que reforça novos conhecimentos, que substituem bem os antigos, mas se sobrepõem como dogmas, impedindo a crítica e principalmente a criação de novos conhecimentos.

Permanece contudo uma questão: não há evidência, eu 'base empírica', que garanta pelo menos a pertinência da postulação das ordens implícitas?

A resposta é sim, pelo menos em uma demonstração.

A verificação de um fenômeno 'não possível', ainda na década de 60, muito impressionou o teórico. Ele confessa sua perplexidade ao constatar, em um programa de TV, uma demonstração de reversibilidade. O dispositivo consiste de dois copos cilíndricos concêntricos; o primeiro é fixo, o segundo (externo) possui um eixo que permite sua rotação lenta. Uma gota de tinta em líquido não miscível (glicerina) que preenche o espaço entre os frascos, é dispersa mediante rotação. A parte do líquido próxima ao cilindro em movimento se arrasta com ele, a parte próxima ao cilindro fixo permanece quase em repouso. A gota então se transforma num fio – arco de circunferência - cada vez mais fino, ilustrando o movimento dos pequenos elementos da glicerina. Sempre consideramos tal situação irreversível pois o novo padrão é caótico em relação ao inicial, ordenado, da gota localizada. Contudo, se invertermos a rotação lentamente, constatamos a gota de tinta reaparecer, ilustrando a reorientação das porções do líquido.

Essa experiência é factível e revela, por analogia, o compromisso entre a noção que temos de 'caos' e a 'ordem oculta' que Bohm postula. No caso simplificado, é possível reverter o padrão de ordem oculta ou implícita para o simples, através da inversão de rotação do cilindro.

Nessa metáfora, Bohm associa, numa correlação com o princípio da incerteza notável e criativa, “posição e momentum do elétron” a gotas de tinta derramadas na glicerina, em instantes diferentes da rotação. Assim, se a posição fosse observada, o momentum estaria espalhado; quando este estivesse em condições de ser observado na rotação certa, aquela estaria espalhada. Davies (2000: 264/265)

comenta que o professor Bohm sempre utilizava esta demonstração em suas aulas no Birbeck College, entusiasmado.

A ordem implícita é o domínio no qual os eventos estão conectados a uma totalidade ou unidade subjacente ao mundo explícito dos eventos separados (Brockman, 1989: 233). As coisas que constatamos disjuntamente poderão estar conectadas, numa ordem não acessível. Estudantes de Pós-Graduação em Física e pesquisadores, face a esta proposição fascinante e atentos à História da Física que atribue grandes avanços às unificações (física e astronomia; eletricidade, magnetismo e óptica, energia...) e às previsões (planetas Urano e Netuno, cometas, neutrino, pósitron...), ao enfrentar seus problemas típicos de pesquisa, não raro perguntam se não há algo escondido, difuso, desconectado..., de maneira a empanar sua investigação. Davies afirma que procurou David Bohm pela primeira vez ainda jovem para discutir seu problema de pesquisa/doutorado, relativo às “diferenças aleatórias de fase das ondas eletromagnéticas”. O doutorando estava impressionado pela proposta de Bohm das ordens implícitas (originadas da sua teoria quântica, que pressupunha variáveis escondidas no domínio sub-quântico que, de certa forma, mascaravam os resultados da indeterminação, da complementariedade bohmiana, da interpretação probabilística da escola de Copenhague hegemônica) e ficou ainda mais impressionado e perplexo quando seu interlocutor o desafiou, estimulando-o a “abandonar os pressupostos para conseguir algum avanço em seu problema”. Mais tarde, o jovem pesquisador se deu conta de que o professor tinha razão, porque afinal as grandes rupturas do conhecimento ocorrem justamente com o abandono de pressupostos de um paradigma, em direção a outros, em flagrante conflito com os anteriores. (Davies, 1999: 261/265).

O método analítico torna-se frágil nesta visão bohmiana, porque a separação entre partes rompe com a pressuposição. Na heteronomia, aplicam-se muito bem as descrições analíticas, porque esta dimensão é própria dos domínios das leis onde muitas coisas relativamente autônomas estão relacionadas a algo externo, de maneira mecânica. São domínios de simplicidade com modelos correspondentes.

Nos contextos mais amplos e complexos, a descrição analítica não é mais válida, pois nesse caso prevalece o domínio da holonomia, campo de leis da totalidade. Embora não seja negada também aqui a potencialidade da análise para certos domínios, ela não tem mais validade no sentido irrestrito. Cada forma de autonomia relativa, de heteronomia, está, em última instância, limitada pela holonomia. Ademais, não devemos entender a holonomia como meta fixa e definitiva da pesquisa, mas sim como movimento em fluxo, onde novas totalidades estão emergindo continuamente (Bohm, 1980: 157).

Na dimensão do holomovimento, o conceito de lei é mais determinado pela holonomia. Romper com a validade do método analítico, que incorpora o princípio científico da fragmentação, é um dos avanços de Bohm, que merece

discussão entre nós, professores de Física e de Ciências Naturais. As leis gerais são formuladas nesta perspectiva, mediante conjuntos de multiplexos; ao invés de um continuum.

A matematização da ordem irrplicita já aparecia na publicação de 1980 e foi sendo aprimorada continuamente por Bohm, que trabalhou intensivamente até a morte. Seu último texto - escrito com Basil Hiley, seu colega de Birbeck, aprofunda a discussão sobre as totalidades e retoma contribuições anteriores de Bohm a partir da década de 1950, à luz de novas conquistas e dificuldades do conhecimento científico e tecnológico dos anos 90 (Freire, Jr, 1999: 170/175) . Coerente com a busca de nova linguagem e nova 'matemática que novas ordens e estruturas impõem, ele escreve:

*Na descrição matemática da ordem explícita, uma transformação descreve mudanças geométricas simples dentro dessa ordem; no contexto mais amplo da ordem implícita, chamaremos o que acontece de metamorfose. (Bohm, 1980:159)*

As mudanças são, nesse caso, muito mais profundas e radicais do que as de rotação, translação, etc. das transformações. O domínio de um multiplex está relacionado a metamorfoses, descontínuas por natureza.

A extensão da teoria das ordens implícitas ao campo da consciência é considerada. Na generalização mais ousada temos o tratamento do cosmos e da consciência enquanto totalidade singular não separável do holomovimento.

É sugerido um caminho que estimula a criatividade. Indica, mais ainda, um salto do antropocentrismo para um “centro dinâmico pautado pelo cósmico que incorpora a consciência”. Um desafio prazeroso para se conhecer muito, mas conhecer ativamente, de preferência com rebeldia, porque, mesmo em tempos de resultados espetaculares da observação, da Astrofísica à Biologia Molecular, com equipamentos e recursos jamais que incorporam computadores potentes de processamento paralelo, capazes de processar imagens e cálculos avançados rapidamente e de projetar simulações complexas de um mundo virtual que parece (con)fundir com o real,

*...a totalidade do movimento de recolhimento e desdobramento pode ir muito mais além do que pode ser captado por nossas observações mais distantes e precisas. (Bohm, 1980:179)*

As sucessões entre recolhimento e desdobramento são analogias bastante utilizadas para ilustrar, explicitar, as propriedades do holomovimento. Trata-se de um 'esquema epicídolde', que se aplica a muitos exemplos, dentre eles o da 'gota de tinta na glicerina'.

Na perspectiva da ordem implícita prevalecem as formulações dedutivas, a partir de totalidades indivisíveis do universo. Aqui. o autor assume postura semelhante a muitos epistemólogo - desde Popper. que combateu impiedosamente a

indução (Popper, 1975:13/40), até Feyerabend. com sua radical postura “contra-indução” no seu desconcertante 'Contra o Método'(Feyerabend,1977, cap.1).

Dados os componentes teleológicos das formulações, seu compromisso com “a causa final”, a presença forte em seus escritos de elementos que são atribuídos a domínios não racionais da inteligência, muitas vezes Bohm é aproximado demais à religião, mesmo porque está sempre aberto e em constante diálogo com porta-vozes da sabedoria oriental. Contudo, ele próprio critica a correlação de resultados entre religião e ciência, assumindo, como já dissemos. 'impulsos religiosos na formulação de teoria, à semelhança de Einstein. Dado que essa discussão não é relevante para nossas intenções, não passaremos deste registro (consultar Weber, R, 1986, em especial as entrevistas com Bohm, sozinho ou em companhia dos 'sábios orientais').

O traço marcante do autor é carregado de rejeição ao cartesianismo, a princípio a não separação entre 'distintos objetos de análise'. Indo até seus limites, avança proposições que podem muito bem, atualmente, ser tomadas como puramente místicas, como a seguinte:

*consciência e matéria- viva e não viva- como constituintes de urna realidade total na ordem implícita. (Bohm 1980:196)*

As conseqüências destas novas formulações, de cunho epistemológico e filosófico permanecem praticamente ausentes dos cursos de formação inicial e mesmo os de formação continuada dos docentes.

Não serão estes estudantes os professores de amanhã ? Como serão introduzidos os novos conhecimentos, sobretudo as abordagens não ortodoxas, com esta prática de negligência ou de censura?

Para encerrar a discussão epistemológica sobre velhos e principalmente novos aspectos da tensão entre F&T, faremos um distanciamento do que foi apresentado até agora. Seguimos a sugestão de Eddington, que nos estimula a refletir o conhecimento adquirido simultaneamente à natureza desse conhecimento. Localizamos, como 'observador dos observadores', Gerald Holton.

## **Observando os observadores**

Gerald Holton, à semelhança de seus colegas historiadores da Ciência e epistemólogos, propõe um modelo para a investigação científica. Não se trata mais de responder à questão 'o que é Ciência?', parece que ninguém mais tem tal pretensão. Ele reflete sobre as características do empreendimento com auxílio quase que exclusivo da História da Ciência, tanto no contexto da descoberta como no da justificação.

A opção por Holton é oportuna porque, dentre outros motivos, ele é muito pouco difundido nos países de língua portuguesa, principalmente no Brasil. Classificado mais como um historiador internalista, físico de formação, é polêmico e vem contribuindo bastante tanto no campo da História da Ciência como no ensino de Ciências, principalmente o de Física.

Holton lista várias áreas de pesquisa para os interessados em conhecer o processo da evolução e caracterização do pensamento em CN. Desde o conteúdo do evento a ser estudado, até a análise lógica da obra, ele nos alerta para “esta estratégia reducionista cujo emprego é imposto pelas nossas limitações humanas”.

Além destas alternativas (Holton, 1979: 18/20), o autor propõe mais uma, aquele que está mais relacionado com a sua contribuição. A seu ver, também a nosso, fundamental para se analisar um trabalho científico é a ANÁLISE TEMÁTICA. Ela se justifica, porque.

*Em muitos (talvez a maioria) conceitos, métodos e proposições ou hipóteses da ciência, passados e presentes, há elementos que funcionam como temas, forçando ou motivando e, por vezes, guiando (normatizando) ou polarizando a comunidade científica.*  
(Holton, 1979: 21)

As discussões tradicionais entre os cientistas estão muito mais afetadas pelo conteúdo empírico e analítico do seu trabalho ou dos “fenômenos repetíveis” e das proposições relacionadas com a lógicas e com a matemática”. Holton, ainda que advertindo para as limitações que todos os modelos encerram, não resiste e propõe o seu; mais ainda, aponta suas deficiências e o considera (o modelo) uma “imperfeita analogia”.

No empreendimento científico, ele associa as dimensões empírica e analítica a dois eixos perpendiculares, respectivamente X e Y, base ortogonal usada em todas as representações cartesianas de planos. De nossa parte, associamos essas dimensões - eixos a tradições de pesquisa de países. Assim, a escola inglesa está mais próxima da dimensão empírica/eixo X, ao passo que a francesa se localiza mais próxima da dimensão analítica/eixo Y.

A dimensão temática (do grego *thema* – proposição) estaria além desse plano XY, com elementos mais complexos de racionalidade, acompanhando a terceira dimensão do espaço euclidiano, através do eixo Z. Em nossa aproximação com as tradições de pesquisa, esse eixo está mais próximo da escola alemã, porque historicamente sempre esteve mais atenta aos embates entre Ciência e Filosofia.

Do que trata, mais especificamente, o eixo temático por excelência?

Holton fornece vários exemplos de sua investigação, sobre trabalhos originais de pesquisadores, dentre eles Millikan e Einstein. Dá preferência a períodos

de intensa agitação, de revoluções científica, como fazem todos os historiadores e/ou epistemólogos modernos mais respeitados.

Como ilustração evidente do componente temático na pesquisa contemporânea, ele cita um artigo de Steven Weinberg publicado no 'Scientific American' sobre 'Teorias Unificadas das Partículas Elementares'. Não se trata de analisar o conteúdo do artigo, mas sim destacar afirmações que ilustram bem a impregnação de Weinberg pelo componente temático, pelo “eixo Z”.

### **Exemplos:**

*“Uma das esperanças duradouras do homem tem sido a de encontrar leis gerais simples; teoria unificada; partículas elementares; conservação; simetria; isotropia; homogeneidade; eficácia dos números inteiros como instrumentos de explicação...”*

São escritos de Weinberg retirados por Holton do artigo citado. Traços inconfundíveis da presença do eixo temático na concepção dos cientistas atuais. Talvez sejam ainda débitos nossos para com os gregos Pitágoras, Demócrito e outros que formularam grandes questões, atuais, passados mais de 20 séculos.

A síntese, voltada para a unificação, a totalização, é a categoria feita por Weinberg nesta publicação. Ainda que a análise seja levada às últimas consequências, até os limites das partículas elementares, é, nesta visão, um instrumento dos homens, buscando confirmar aquela 'esperança duradoura',

A análise, aliada ao critério de classificação pelas categorias semelhança/diferença, aproxima a Física de Partículas à Zoologia. Para Holton, isso não é somente irônico; nos força a refletir a origem de termos como 'vida longa ou curta de partículas', de tantos outros que caracterizam os “ciclos vitais” de partículas. Ciclo vital é também um tema! Igualmente, simetria, conservação, isotropia, homogeneidade, são temas!

Pelo final do artigo que Holton discute, a necessidade de confirmação está presente uma vez que:

*“se tais especulações forem confirmadas por novos trabalhos teóricos e experimentais, teremos dado um grande passo na visão unificadora da natureza”* (Weinberg apud Holton, 1979: 29)

Isto quer dizer que os eixos X - empírico e Y - analítico são decisivos para consagração dos temas do eixo Z. É importante ressaltar que estamos tratando de escritos de um físico (Weinberg) consagrado, na época com posição mais próxima da ortodoxia do que outros cientistas também consagrados, como Bohm, Prigogine,

Monod, Penrose. Ou seja, o componente temático não é privilégio dos 'excêntricos', não só dos físicos, mas de todos os que trabalham em Ciências, ao contrário das visões usuais passadas pelos autores da grande maioria dos livros didáticos, sempre pautadas pela extrema racionalidade dos principais atores do empreendimento científico e tecnológico.

Há conflitos dentre os distintos temas, mas sempre há ternas, segundo Holton. Mesmo a contragosto desse autor, identificamos o componente temático dos cientistas com o campo 'metafísico', com uma racionalidade para além do empírico-analítico, com as crenças. Assim, Bohm está também marcado por TEMAS, nem todos compatíveis com os de Weinberg.

O próprio Holton revela seu componente temático, suas prererências, ao comentar sutilmente que a visão temática unificadora democritiana (de Weinberg, o primado do discreto, atômico ou corpuscular), eliminaria, confirmadas as demonstrações (o empírico, no reforço do tema), as oposições, ou:

*O tema do primado do contínuo, como na obra de um teórico que expflcou a matéria como singularidades ou vórtices num fluído ou campo, e que não podia acreditar que a teoria dos quanta fosse raalmente básica. (Holton, 1979:19)*

Holton se refere a Bohm nessa passagem, embora sem citá-lo, uma maneira pouco sutil de polemizar com o teórico. Deixa os leitores atentos (ou os seus observadores) a identificarem sua (de Holton) preferência, que é a democritiana. É parcial, pois o final da citação crítica está duplamente incorreto. Vimos neste o valor que Bohm credita à teoria quântica enquanto básica, embora não necessariamente completa; apenas ele não se contenta com suas limitações e pretende avançar sobre ela. Ademais, não se trata de crença, mas sim de oposição, uma vez que o programa causal de Bohm para a Física Quântica é essencialmente correto, pretensamente mais amplo e avançado que a teoria mais aceita, não necessariamente apenas uma alternativa à teoria originária das interpretações de Bohr (Freire Jr, 1999: 65/71).

Mas, como estamos ao longo do eixo Z, temático, o dissenso e as controvérsias são fortes componentes. Holton enumera outros opositores ao primado do atômico, como Planck, Eistein, von Laue e Schrödinger. Salva-se da parcialidade dando a devida importância a este debate milenar, de Demócrito versus Heráclito, exacerbado depois das formulações e interpretações do universo dos quanta. Ele inclui também a posição platônica, daqueles que não admitem a possibilidade de “matéria fazer matéria”, como Heisenberg.

Os exemplos são didáticos, podendo e devendo ser traidos para as salas de aula, pelo menos nos cursos de graduação. No ensino, mesmo nas aproximações dos estudantes mais avançados com teorias contemporâneas mais avançadas,

prevalece ainda a hegemonia, o consenso e a homogeneidade entre os cientistas; raramente apresentam-se interpretações alternativas.

Como, no eixo z, os elementos básicos, os pressupostos, não podem ser confirmados ou refutados como os do plano XY, o debate deverá acompanhar os homens de ciência em épocas futuras. Novas teorias estarão inevitavelmente carregadas com essas tendências, essas idiosincrasias. Holton insiste no problema não para resolvê-lo, mas sim para buscar compreensão do campo sutil da “estrutura das convicções”.

Com seus exemplares, esse professor americano nos auxilia também a enriquecer a discussão sobre o conflito entre Fragmentação e Totalização. Além de confirmar o seu 'eixo Z', está por exemplo localizando os adeptos dos fragmentos elementares de um lado, e também os adeptos do contínuo de outro. É a luta incessante entre tendências antitéticas nas proposições temáticas, embora os temas não sejam sempre antitéticos.

Holton suspeita que as tendências se cristalizam antes mesmo da profissionalização do cientista, para acompanhá-lo quase sempre, por toda sua vida.

Aprofundando seu modelo, com ênfase nos elementos temáticos, o historiador detém-se no par análise-síntese, aplicado a processos de diferenciação/integração dos temas. Extrapola os dilemas da Física, evocando pares presentes nos emates internos de outras ciências, como a Antropologia e a Sociobiologia. São os pares: matéria e antimatéria, inanimado e animado, subjetivo e objetivo, sim e não, estrutura imutável (Parmênides) e fluxo (Heráclito). Um trabalho muito rico que continua pouco acessível aos professores de Ciências.

Embora não faça aqui um aprofundamento da luta frente a esses pares, dado o interesse educacional de nosso trabalho, registro-os e localizo, em muitos de seus pontos, dimensões do problema da abordagem pelas partes ou pelas totalidades.

Clara está, para nós, a presença forte e marcante de elementos de 'crença, esperança, gosto, tendências' nos autores escolhidos. Tais elementos estão longe da pretensa objetividade tão imputada ao fazer ciência. Se estão na consciência e na prática dos pesquisadores (não só dos nossos preferidos, os não-ortodoxos), como pode a atividade de investigação ser tão plena de objetividade?

A consciência para Eddington, o 'fluxo total' para Bohm, o 'tempo vivido' para Prigogine, são evidências do componente temático, do 'eixo z' de Holton. Se o leitor voltar agora a citações de Bohm deste artigo, ou trechos de seus escritos, constatará a impregnação temática do contínuo, da conservação, das totalidades. Eddington também não é exceção. Transcrevo dele: “Desde os primórdios, desenvolveu-se um sistema sensorial inato, de tal modo que nos apresenta em forma vivida, um mundo que se adapta à agência mental de permanência.” (conservação)

Alguns poucos lemas são milenares. Este critério pode ajudar a identificar um traço importante da imaginação científica, para além da objetividade. Holton prefere não identificar seu insight com uma proposta que levará ao consenso sobre a imaginação e o trabalho científicos. Mas lembra que a proposição temática torna clara:

*a ligação entre as atividades científicas e os estudos humanistas e que poucos, até agora, estudaram. (Holton, 1979:20)*

Numa de suas muitas ressalvas para a compreensão e analogias prováveis dos temas ele alerta para que a análise temática não seja confundida:

*com alguma outra coisa: arquétipos junguianos, com a metafísica, com paradigmas e visões de mundo. (Holton, 1979:20)*

Holton distingue a sua contribuição daquela de Kuhn, muito mais conhecida, embora não o cite explicitamente. Diz que “paradigmas talvez encerrem elementos temáticos, mas que as diferenças são esmagadoras”. Por exemplo:

*As oposições entre os temas persistem durante a “ciência normal” e os temas persistem através de períodos revolucionários. (Holton,1979: 20)*

Concordamos com a colocação; o próprio David Bohm conviveu décadas com um programa teórico alternativo para a Física Quântica, confirmando a coexistência de teorias rivais em tempos de ciência normal. A esse respeito, Freire Jr, depois de investigação aprofundada e diversificada sobre a obra de Bohm nas suas múltiplas facetas – o físico, o teórico, o filósofo, o professor - , alinha-se mais aos epistemólogos que aceitam a competição entre teorias em todos os períodos, como Lakatos, Laudan, Feyerabend e Paty do que a Kuhn. (Freire Jr, 190/191).

Muitos temas são do próprio homem na sua perplexidade frente à vida e ao mundo, outros são os legados dos gregos, sustentados séculos antes da atividade científica moderna. Entretanto, como não pretendemos aqui aprofundar as 'diferenças entre semelhanças' dentre as proposições de historiadores da Ciência, não prosseguiremos nesta direção. Este terreno é também um campo controverso, aberto a disputas por hegemonias, com prioridades temáticas, no sentido que Holton empresta ao termo.

Nossa opção temática ao ensinar/aprender e ao exercer as funções docentes estão, ainda que implicitamente, presentes, orientando, talvez contribuindo para determinar nossas atitudes, crenças, comportamentos em favor deste ou daquele cientista e sua(s) teoria(s), desta ou daquela publicação didática ou paradidática, mais ou menos materialista-massiva, mais ou menos aberta a novos conhecimentos,

conteúdos e métodos. Um bom exercício é procurar identificá-la, reforça-la e/ou modificá-la, em equipe ou individualmente, visando os avanços desejáveis com nossos alunos em favor de um conhecimento científico mais plural, menos consensual, mais humano e rico. Seguramente, as categorias bohmiana podem contribuir, de algum modo, para tal exercício e mesmo para a prática docente.

1 David Bohm foi professor de Física do Birbeck College da Universidade de Londres. Antes trabalhou no Brasil, na USP de 1951 a 1955, na Universidade de Haifa – Israel, tendo iniciado sua carreira como docente-pesquisador em Princeton – EUA. Doutorou-se em na Universidade de Berkeley, sob orientação de Oppenheimer. Suas primeiras pesquisas sobre oscilações de plasmas já o fascinavam, face ao comportamento dos coletivos de elétrons em altas energias, sugerindo, para sua mente inquieta algo como um sistema “vivo”. Ligado ao Partido Comunista nos EUA e tendo se negado a denunciar colegas para as comissões do machartismo ao final da década de 1940, passou a ser perseguido, não tendo conseguido renovar seu contrato em Princeton, nem conseguir outro emprego em seu país. Conseguir sair então, após mobilização de Einstein em seu favor, para vir trabalhar na USP. Nesta época o jovem Bohm já era reconhecido por não se submeter corajosamente ao consenso sobre a Teoria Quântica – a chamada interpretação de Copenhagem. Tem reconhecida contribuição no campo da Física Teórica: difusão de partículas, interação de plasmas com campos magnéticos, interação de elétrons com linhas isoladas de campo magnético (efeito Bohm - Aharanov, um fenômeno puramente quântico confirmado, possibilitando um campo novo de pesquisa dos materiais a nível hipermicroscópico, como a obtenção de hologramas a partir de feixe coerente de elétrons. Consultar sobre estes resultados e possibilidades, artigos e comentários em *Physics Today*. vol, 43, n. 1 e 4, jan. e ab/90. Contribuiu também em *Física Experimental*. na construção/criação do ciclotron e sincrociclotron, Em 51 publicou o clássico 'Quantum theory', iniciando o caminho crítico dos fundamentos da teoria; dois artigos publicados na *Physics Review* em 1952 (Freire Jr, 1999) avançam a discussão sobre a não completude da Teoria Quântica e introduzem o programa causal bohmiano, inicialmente sob a matriz das “variáveis escondidas”, uma denominação pouco atraente aos físicos da época. Debateu com vários cientistas pioneiros dessas teorias, como Pauli, Einstein, De Broglie; no Brasil manteve diálogos freqüentes com pesquisadores estrangeiros como Feynmann e Beck e brasileiros como Leite Lopes e Schöenberg. Considerado como um dos grandes físicos do século XX, ainda que sempre se movimentando na contra-mão, Bohm terá sido provavelmente o cientista contemporâneo que mais extrapolou seu campo de reflexão, atuação e diálogo. Respeitado e com trânsito nas esferas mais distintas – da linguagem, da psicologia transpessoal, das religiões, do misticismo, da sabedoria oriental -, podemos apreciar as idéias, concepções, proposições, controvérsias e

contribuições das mais criativas do universo bohmiano em vários livros, com entrevistas e/ou com referências diretas às suas categorias, com destaque para - potencial quântico, programa causal, não-localidade, ordem implícita e holomovimento – paradigma holográfico - já traduzidos para o português, a exemplo de Weber (1994); Brockman 1987; Wilber (1991 e 1997); Davies (1999); Martins (2001). Outras publicações em livros: "The Special Theory of Relativity (1966), Causality and Chance in Modern Physics (1984) e o clássico 'Wholeness and the Implicate Order (1980), escrito para "não físicos" não obstante um pouco de formalismo quântico, que teve grande repercussão em diversos campos do conhecimento, dos tradicionais aos mais especulativos, traduzido para o português: A Totalidade e a Ordem Implicada, 1992. Para este artigo, o autor baseou-se fundamentalmente nestes dois últimos textos originais, com traduções próprias. Uma referência obrigatória para uma aproximação maior com a obra e a trajetória de David Bohm, as distintas manifestações de seu perfil singular – físico, epistemólogo, humanista, professor, polêmico – é o texto David Bohm e a Controvérsia dos Quanta, de Olival Freire Jr, 1999, editado pela UNICAMP- coleção CLE n. 27. Diversas páginas eletrônicas, principalmente em inglês, podem ser alcançados a partir de busca com o título David Bohm, muitas delas com links que facilitam a procura por assuntos. Selecionamos alguns, lançados na bibliografia ao final do artigo. A teoria da Ordem Implícita está bem colocada, em resumo, na publicação de Brockman, um editor (1989, parte 5, pp. 228/235). Um livro instigante e criativo já traduzido para o português com David Peat, é 'Ciência, Ordem e Criatividade', Gradiva, Lisboa. 1989. Demais publicações de Bohm e sobre Bohm podem ser localizadas em Freire Jr. (1999) e em endereço eletrônico próprio – consultar bibliografia deste artigo. Nosso objetivo nesta publicação é duplo: divulgar e comentar algumas das contribuições de Bohm com destaque para a *ordem implícita* e o *holomovimento*, recursos analógicos amadurecidos a partir dos anos 70 e desafiar os leitores – professores de Física/Ciências e demais interessados – a refletirem estas proposições cotejando-as com *suas próprias concepções*, por similaridade ou por contraste; quando desejável e possível, aplicarem estas concepções com suas possibilidades e limites, tanto na sua formação continuada como na docência, consideradas as distinções entre o conhecimento científico e o ensino-aprendizagem de Física/Ciências. Nós já exploramos bastante a riqueza das propostas e criações de Bohm ao analisarmos o conflito entre fragmentação e totalidade, elegendo - e utilizando nos últimos quinze anos - categorias epistemológicas chamadas *conceitos unificadores* como referentes para atividades didático-pedagógicas diversas de ensino/aprendizagem de Ciências Naturais (Angotti, 1991 e 1995, Delizoicov e Angotti, 1991 e 2001), que não serão tratadas neste texto.

## Referências Bibliográficas

- ANGOTTI, J. A. Conceitos unificadores e ensino de física. In Revista Brasileira de Ensino de Física, SBF,15, (1-4) , pp181/189.
- ANGOTTI, J. A. Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências. Tese de doutoramento. São Paulo, FEUSP, 1991.
- BACHELARD, G. O novo espírito científico. Rio de Janeiro, Tempo Brasileiro, 1968.
- BERNSTEIN, B. Codes and control. London, Paladim, 1971.
- BOEKE, K. Cosmic View. In: Gateway to the great books of Enciclopedia Britannica, vol 8. Chicago, 1971, pp. 600/640.
- BOHM D.; David Peats, F. Ciência, ordem e criatividade. Lisboa, Gradiva, 1989.
- BOHM, D. A totalidade e a ordem implicada. São Paulo, Cultrix, 1992.
- BOHM, D. Causality and chance in modern physics. Routledge and Keagan, P., 1987.
- BOHM, D. e AHARANOV, Y. Significance of eletromagnetic Potentials in quantum theory. In: *Physical Review*, 115 (03), 1959, pp. 485/491.
- BOHM, D. e HILEY, B. J. *The individed Universe: an ontological interpretation of quantum theory*. Londo, Routledge, 1993.
- BOHM, D. *Quantum theory*. New York, Prentice Hall, 1951.
- BOHM, D. *Wholeness and the implicate order*. London, Routledge and Keagan, P., 1980.
- BOHR, N. *Sobre a constituição de átomos e moléculas*.Lisboa, Gulbenkian, 1969.
- BROCKMAN, J. *Einstein, Gertrude Stein, Wittgenstein e Frankenstein*.São Paulo, Companhia das Letras, 1988.
- BROGLIE, L. Logique et connaissance scientifique. In: *Enciclopedie de la pleiade*. Paris, Galimard, 1967.
- BRUNNER, J. S. *O processo da educação*. São Paulo, Nacional, 1970.
- CHANGEUX, J. P. e CONNES, A. *Matéria e pensamento*. São Paulo, UNESP, 1996.
- CLARK, N. Similarities and Differences between Scientific an Technological Paradigms. In: *Futures*, n. 19 (1), feb/87, pp. 26/42.
- COHEN, B. *O nascimento de uma nova física*. São Paulo, Edart, 1967.

- DAVIES, P. *O enigma do tempo*. Rio de Janeiro, Ediouro, 1999.
- DELIZOICOV, D. e ANGOTTI, J. A. *Física*. São Paulo, Cortez, 1991.
- DELIZOICOV, D. e ANGOTTI, J. A. *Metodologia de Ensino de Física*. Florianópolis, CED/LED/UFSC, 2001.
- DELIZOICOV, D. e ANGOTTI, J. A. *Metodologia do Ensino de Ciências*. São Paulo, Cortez, 2000.
- DYSON F. *Infinito em todas as direções*. São Paulo, Companhia das Letras, 2000.
- EDDINGTON, A. *La filosofia de la ciencia física*. Buenos Aires, Sudamericana, 1946.
- EDDINGTON, A. The runnig-down of the universe. In: *Gateway to the Great Books of Enciclopaedia Britannica*, vol 8, Chicago, 1971. Pp. 565/580.
- EIJKELHOF, H. M.C. e KOTLAND, K. Broadenning the aims of physics education. In: *Plon Project*. Utrecht, The Netherlands, 1989.
- ELMANDJRA, M. Fusion de la Science et de la culture. In: *Futuribles*, Paris, 138, dez/89, pp. 03/15.
- FREIRE JR, O e CARVALHO NETO, P.R. *O universo dos quanta*. São Paulo, FTD, 1997.
- FREIRE JR, O. *David Bohm e a controvérsia dos quanta*. Campinas, CLE/UNICAMP, 1999.
- FREIRE JR, O. *Estudo sobre interpretações (1927-1949) da teoria quântica "epistemologia e física*. São Paulo, IFUSP, 1991.
- FREIRE JR, O., PATY, M. e ROCHA BARROS, A.L. David Bohm, sua estada no Brasil e a teoria quântica. In: *Estudos Avançados*. 20, 1994, pp. 53/82.
- GEYMONAT, L. *Ciência e realismo*. Barcelona, Peninsula, 1980.
- GLEICK, J. *Caos*. Rio de Janeiro, Campus, 1990.
- GORDON , T.J. e GREENPAN, D. *Chaos and fractals: new tools for techonological and social forecasting*. In: *Techonological Forecasting and Social Change*. New york, 40 (34), pp. 01/25.
- GREAT BOOKS* – Enciclopaedia Britannica, vol. 34, Newton and Huygens.
- GREAT BOOKS* – Enciclopaedia Britannica. Universal and particular, *The great ideas*. vol.II-cap. 96.

- HANSON, N. R. *Padrones de descubrimiento: observación y explicación*. Madrid, Alianza, 1985.
- HOLTON, G e BRUSH, S. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona, Reverté, 1976.
- HOLTON, G. *A imaginação científica*. GREAT Rio de Janeiro, Jorge Zahar, 1979.
- HOLTON, G. *The thematic origins of scientific thought – Kepler to Einstein*. Boston, Harvard press, 1983.
- JAPIASSU, H. *Questões epistemológicas*. Rio de Janeiro, Imago, 1981.
- JAUCH, J.M. *São os quanta reais?* São Paulo, Nova Stela/EDUSP, 1986.
- KADANOFF, L. *Factals – Where is the physics?* In: *Physics Today*, 39 (02), feb/86.
- KRUGER, C. *Some primary teachers ideas about energy*. In: *Physics Education*, 25 (04), 1990, pp. 87/91.
- KUHN, T. *A estrutura das revoluções científica*. São Paulo, Perspectiva, 1976.
- KUHN, T. *La tensión esencial*. México, Fondo de Cultura Económica, 1987.
- LAKATOS, I. E MUSGROVE, A. (orgs.) *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. São Paulo, Cultrix/Edusp, 1979.
- MARTINS, L. *Escrever com criatividade*. São Paulo, Contexto, 2001.
- MASON, J. P. *História da Ciência*. Rio de Janeiro, Globo, 1964.
- MENEZES, L. C. *Crise, cosmos e vida humana*. Tese de Livre-Docência, São Paulo, USP, 1989.
- MONOD, J. *L'Hazard et la nécessité*. Paris, seuil, 1970.
- MORRISON, P.P. *potencias de diez*. Barcelona, labor, 1984.
- PHILIPPIDIS, C.; BOHM, D. e KAYE, R.D. *The Aharanov-Bohm effect and the quantum potencial*. In: *Il nuovo Cimento*, 71B (01), 1982. pp. 55/88.
- PIAGET, J. *A epistemologia genética*. Petrópolis, Vozes, 1973.
- PRIGOGINE, I. *Science, civilization and democracy*. In: *Futures*. New York, 18 (04), aug/86, pp. 493/507.
- RUSSEL, B. *Análise da matéria*. São Paulo, Cultrix, 1986.
- SAGAN C. *Cosmos*. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1981.
- SILK, J. *O big bang – A origem do universo*. Brasília, UNB/Hamburg, 1985.

STENGERS, I. *Quem tem medo da ciência?* São Paulo, Siciliano, 1990.

USP - INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS e INSTITUTO DE FÍSICA. *Simpósio David Bohm – Fundamentos da Física*. Caderno de resumos, São Paulo, 1998.

WEBER, R. *Diálogo entre cientistas e sábios*. São Paulo, Cultrix, 1986.

WEINBERG, S. *Os três primeiros minutos*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1980.

WEISSKOPF, V. F. *Indagação e conhecimento*. São Paulo, Edart/Funbec, 1975.

WEISSKOPF, V. F. *The privilege of being a physicist*. New York, W.H. Freeman and Company, 1989.

WHITEHEAD, A. N. *A ciência e o mundo moderno*. São Paulo, Brasiliense, 1951.

WILBER, K. *O olho do espírito*. São Paulo, Cultrix, 2001.

WILBER, K. (org.) *O paradigma holográfico*. São Paulo, Cultrix, 1991.

### **Endereços eletrônicos**

<http://www.usp.br/iea/bohm.html>

<http://www.if.usp.br/ensino/temas/fundamentos/ff-00.htm>

[www.shavano.org/html/bohm.html](http://www.shavano.org/html/bohm.html)

[www.davidbohmbooks.com/](http://www.davidbohmbooks.com/)

[www.f davidpeat.com/interviews/bohm.htm](http://www.f davidpeat.com/interviews/bohm.htm)

[twm.co.nz/Bohm.html](http://twm.co.nz/Bohm.html)

[www.users.globalnet.co.uk/~infed/e-texts/bohm\\_dialogue.htm](http://www.users.globalnet.co.uk/~infed/e-texts/bohm_dialogue.htm)