

in Pessoa Jr, Osvaldo (org.). *Fundamentos da Física 1. Simpósio David Bohm* (SP, setembro 1998), Editora Livraria da Física, São Paulo, 2000, p. 123-134.

Sobre a recepção do programa causal de David Bohm ¹

OLIVAL FREIRE JR.

*Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia -
freirejr@ufba.br*

MICHEL PATY

*Equipe REHSEIS (UMR 7596), CNRS e Université Paris 7 – Denis Diderot,
2 place Jussieu, 75261 Paris-Cedex 05, France
paty@paris7.jussieu.fr*

ALBERTO LUIZ DA ROCHA BARROS

*Departamento de Física de Materiais e Mecânica,
Instituto de Física, USP, São Paulo*

1. Introdução.- 2. O renascimento das “variáveis escondidas”.- 3. A recepção do programa causal.- 4. A controvérsia no terreno científico.- 5. As adesões ao programa causal.- 6. Einstein, Feynman e outros.- 7. Os desenvolvimentos do programa causal.- 8. Conclusão : a ausência de novos resultados.- Referências.

Resumo

Abstract

¹ Versão reduzida em português, sob a responsabilidade de O. Freire Jr., do trabalho ‘Physique quantique et causalité selon Bohm – Analyse d’un cas d’accueil défavorable’, a aparecer em H. Kragh, P. Marage & Vanpaemel (eds) - XXth International Congress of History of Science volume *On History of Modern Physics*. As fontes históricas consultadas estão ali identificadas, mas foram suprimidas do presente trabalho por razões de espaço. Para uma análise ampliada da atividade científica de David Bohm referente aos fundamentos da teoria quântica, ver também Freire Jr., 1999 e Paty 1993. O. Freire e M. Paty expressam sua homenagem ao saudoso amigo e colaborador A.L. da Rocha Barros, falecido em janeiro de 1999.

1. Introdução

A interpretação causal da teoria quântica proposta por Bohm, a atividade científica dos que apoiaram o programa causal, e a recepção daquela proposta na comunidade dos físicos dos anos 50, sugerem vários problemas históricos e epistemológicos muito interessantes, dos quais pretendemos discutir os seguintes: Por que o programa causal teve uma recepção tão desfavorável? Quais critérios foram utilizados pelos físicos para decidir entre propostas rivais? As respostas a tais questões são controversas, e, após a apresentação de nossa análise, nós discutiremos as posições de Cushing e David Peat.

Em nossa análise nós consideramos tanto os aspectos científicos quanto as questões filosóficas e mesmo ideológicas referentes à controvérsia. Nossa conclusão sugere que a comunidade científica decidiu desfavoravelmente contra o programa causal influenciada principalmente por razões científicas, e em primeiro lugar pelo fato de que o programa causal não obteve naquele período nenhum novo resultado. Contudo, o interesse efetivo por tais pesquisas ‘heterodoxas’ ultrapassa este resultado negativo porque a teoria de Bohm contribuiu para desenvolvimentos posteriores na interpretação da física quântica.

2. O renascimento das “variáveis escondidas”

Não entraremos nos detalhes técnicos do modelo elaborado por Bohm (1952) em seu pioneiro artigo. Cabe apenas assinalar que com este modelo ele reproduz os mesmos resultados já obtidos pela teoria quântica não-relativista, mas em uma interpretação distinta daquela usual, a da complementaridade. A distinção residindo na recuperação de certas premissas epistemológicas próprias da física clássica, como o determinismo. Naquele contexto, aliás, *causal* era compreendido como sinônimo de *determinista*. Não se tratava, contudo de recuperar todo o quadro conceitual clássico porque a própria idéia de um ‘potencial quântico’ presente no novo modelo era completamente estranho às idéias clássicas. Este potencial era inclusive responsável pela nova interpretação exibir a mesma propriedade da não localidade para sistemas espacialmente separados que o formalismo usual da teoria quântica exibia. Sublinhamos que a não-localidade do modelo de Bohm permitiu a sua sobrevivência aos testes das desigualdades de Bell, pois nestes experimentos o que estava em questão era a existência de variáveis escondidas locais versus a teoria quântica.

Bohm não pretendia, contudo, uma nova interpretação da teoria quântica rigorosamente equivalente à usual em termos empíricos. Ele pretendia modificar o modelo original, mantendo-se na mesma perspectiva epistemológica, para fazer frente a dificuldades enfrentadas à época pela física teórica. Naquele contexto as dificuldades apontadas por Bohm estavam relacionadas às quantidades infinitas que aparecem na quantificação da radiação eletromagnética, à quantificação da interação nuclear e às novas partículas subatômicas que estavam sendo descobertas. Bohm nutria, portanto, a expectativa de que a interpretação causal apresentasse alguma vantagem - empírica, heurística ou operacional- face à interpretação usual. É neste sentido flexível que usaremos a expressão ‘novos

resultados' na análise da recepção do programa causal.

3. A recepção do programa causal

A resposta da comunidade científica à interpretação causal foi maior do que usualmente se pensa. Nós identificamos e analisamos críticas epistemológicas, como aquelas de L. Rosenfeld, W. Heisenberg, T. Takabayasi, V.A. Fock e M. Schönberg; apoios da mesma natureza, como os de E. Schatzmann e H. Freistadt; críticas científicas como as de W. Pauli, Keller e O. Halpern; e adesões ao programa causal, como as de L. de Broglie, J-P. Vigié, R. Schiller e M. Bunge. Algumas interessantes reações à interpretação causal não podem, contudo, ser incluídas neste esquema, a exemplo das posições adotadas por A. Einstein, R. Feynman, e E. Schrödinger. Nós levamos em conta os anos que David Bohm passou no Brasil – entre fins de 1951 e início de 1955 – e encontramos registros de debates entre David Bohm e G. Beck, I. Rabi, H. Anderson, J. Leite Lopes, J. Tiomno, W. Schützer, e J. Meyer, referentes ao tema da interpretação da teoria quântica. Nós estudamos também a atividade dos defensores do programa causal no sentido de obter: 1) uma melhor consistência da proposta original, 2) um modelo causal relativístico, e 3) extensões dos primeiros modelos com vistas a abordar a física das partículas elementares.

E. Schatzmann, astrofísico francês, e H. Freistadt, físico norte-americano apoiaram a proposta de Bohm do modo que temos chamado de apoio epistemológico. Eles não analisaram os aspectos técnicos da proposta mas valorizaram as premissas epistemológicas, a recuperação do determinismo e a perspectiva materialista subjacente à posição de Bohm. As análises que temos denominado de críticas epistemológicas são semelhantes às anteriores ao colocarem a ênfase da apreciação da interpretação causal nos seus aspectos epistemológicos, mas para recusar o determinismo e a obtenção de imagens claras no espaço-tempo. Para estes críticos a interpretação causal era vista como um passo atrás face às aquisições conceituais e epistemológicas da teoria quântica. Dentre estes críticos nós encontraremos W. Heisenberg, L. Rosenfeld, M. Schönberg, o físico soviético V. Fock e o físico japonês T. Takabayasi. Estes críticos não compartilhavam, contudo, as mesmas premissas epistemológicas, com Heisenberg adotando a perspectiva do idealismo filosófico para a defesa da complementaridade, e com Rosenfeld defendendo a mesma complementaridade mas a partir da perspectiva da dialética materialista. Não nos deteremos aqui em uma análise mais detalhada da disputa entre Rosenfeld e Bohm, mas assinalamos que ela encerra uma riqueza significativa para a compreensão da interface entre a controvérsia dos quanta e controvérsias existentes no âmbito do marxismo.²

4. A controvérsia no terreno científico

De início deve ser registrado que nenhum dos críticos da interpretação causal apontou discrepância entre o modelo construído por Bohm e os resultados

² Ver também Freire Jr, 1997.

experimentais conhecidos. Talvez o mais significativo reconhecimento da consistência lógica do modelo tenha vindo de W. Pauli, que o analisou em detalhes, inclusive em uma primeira versão que lhe foi enviada pelo próprio Bohm. Até a versão finalmente publicada em 1952 foram feitas modificações que levavam em conta as críticas de Pauli, como a segunda parte do artigo, que incorpora as variáveis escondidas ao próprio processo de medição, e a referência aos primeiros trabalhos de Louis de Broglie, de 1926, precursores da interpretação causal. Mesmo reconhecendo a consistência do modelo Pauli manteve críticas sobre as quais falaremos a seguir.

Uma das críticas científicas mais significativas relacionava-se com o caráter não relativista do modelo de Bohm. O. Halpern e T. Takabayasi sustentaram que o modelo não era suscetível de modificações que o levassem a uma generalização relativista. Para Pauli, a ausência deste tratamento evidenciava a fraqueza da argumentação de Bohm: “O Eu não posso considerar como profundo um argumento que prega a reforma da teoria quântica no domínio relativista, mas só trata efetivamente da sua parte não relativista, a qual está correta”.³ Von Neumann manifestou-se no mesmo sentido, reconhecendo que o modelo formulado por Bohm era correto, e mesmo elegante, mas que enfrentaria dificuldades na extensão para os spins. Sensíveis a esta crítica, Bohm e os defensores do programa causal consideraram-na como um desafio a vencer. Uma segunda crítica, que teve repercussão entre os aderentes do programa causal, foi formulada por Pauli e por J.B. Keller. Sinteticamente esta crítica dizia que Bohm igualava a função de onda da teoria quântica com a função de seu próprio modelo, mas estas duas estavam inscritas em quadros teóricos com pressuposto radicalmente diversos. Para enfrentar esta crítica Bohm e J-P Vigier, este estimulado por Louis de Broglie que considerava a crítica procedente, reformularam o modelo original aproximando-o da chamada interpretação hidrodinâmica da teoria quântica.

Pauli, Takabayasi, e outros, argumentaram também que o modelo proposto por Bohm só podia ser construído na representação do espaço-tempo, não podendo ser desenvolvido na representação dos momentos, não reproduzindo, portanto, a invariância da teoria quântica em transformações unitárias. Bohm não aceitou esta crítica, rebatendo que uma interpretação alternativa tinha o compromisso de reproduzir os resultados experimentais da teoria usual, mas não necessariamente suas propriedades matemáticas. À resposta de Bohm, Pauli replicava que não deve existir uma assimetria na teoria que não tenha contrapartida na experiência. Neste argumento se vê que as críticas de Pauli não eram independentes de considerações de natureza epistemológica, mas deve ser notado que um físico como Pauli considerava um tal argumento – que nos remete para a lição do princípio da relatividade – como parte integrante do que considerava ‘razões físicas’, deixando para terreno ‘metafísico’ considerações estritamente filosóficas. Nesta controvérsia Pauli não era isento de considerações desta última natureza, mas elas devem ser encontradas não nos seus artigos científicos mas sim na sua vasta correspondência pessoal e científica. Laurikainen, que analisou esta documentação concluiu que as idéias filosóficas de Pauli estão estruturadas em torno da idéia de que “o espírito e a matéria, enquanto elementos de base da realidade, devem ser considerados como dois elementos complementares.

³ W. Pauli, carta a D. Bohm, 3.12.1951, *in* Pauli (1996), p. 436.

5. As adesões ao programa causal

A adesão mais importante ao programa causal ocorreu na França, com o grupo que se formou em torno de Louis de Broglie e Jean-Pierre Vigier. De Broglie, que tinha desenvolvido estas idéias antes de 1927, e as tinha abandonado (se alinhando aos defensores da complementaridade), mudou sua posição mais uma vez e liderou uma colaboração científica que envolveu, além de Bohm e Vigier, Takabaysi (que mesmo mantendo críticas ao programa causal trabalhou no seu desenvolvimento), e o soviético Terletskii, além de jovens físicos, entre os quais F. Fer, G. Lochak, J.A. Andrade e Silva, P. Hillion, M. Thiounn, F. Halbwachs e Ph. Leruste. Deve ser notado que a adesão de físicos soviéticos ou marxistas ao programa causal foi abaixo do esperado por David Bohm.⁴ Uma outra adesão, pouco conhecida na literatura histórica sobre o assunto foi a de Mario Bunge, o futuro filósofo das ciências, então jovem físico argentino. Entre Bunge e Bohm desenvolveu-se, à época, uma colaboração voltada para o problema da generalização relativista do modelo causal.

6. Einstein, Feynman e outros

Crítico da complementaridade, Einstein manteve-se crítico também das variáveis escondidas. Sua posição só pode ser compreendida se consideramos seu próprio programa de desenvolvimento da física teórica: unificar as teorias de campos tendo como base o contínuo espaço-tempo. Uma teoria ‘completa’ do campo contínuo e da fonte do campo esclareceria, ele pensava, os problemas conceituais e teóricos da física quântica (Paty, 1993 e 1995). Apesar das simpatias pelo não-conformismo e talento teórico de Bohm, ele criticou a tentativa do programa causal.

A atitude de Feynman face ao programa causal foi de atenção, e mesmo de simpatia, incluindo a interpretação causal no leque de possíveis saídas para a crise então enfrentada na física teórica, mas aconteceu uma tomada de posição. Ele esteve no Rio de Janeiro, durante a estada de Bohm em São Paulo, e suas discussões tiveram o testemunho de Leite Lopes e Guido Beck. A atitude de Feynman muito animou Bohm, que assim a descreveu a H. Loewy : “Feynman foi convencido de que se trata de uma possibilidade lógica, e que esta interpretação pode levar a coisas novas.”⁵

Ainda na sua estada no Brasil Bohm participou de um colóquio científico internacional, em julho de 1952, no qual expôs suas idéias. No debate que se seguiu físicos como H.L. Anderson, D.W Kerst, M. Moshinsky et J. Leite

⁴ Naquele período ele criticava a ausência de apoio do físico e marxista norte-americano Phil Morrison, e lamentava que “há filósofos em Moscou que criticam a interpretação usual mas eles não têm influência sobre os físicos. É decepcionante que uma sociedade orientada em uma nova direção não seja ainda capaz de ter uma influência significativa sobre a maneira pela qual as pessoas trabalham e pensam” (Carta a M. Phillips, 18.3.1955, *Bohm Papers*).

⁵ D. Bohm, carta a H. Loewy, [s/d], *Bohm Papers*.

Lopes tiveram uma atitude de expectativa, questionando como se poderia estabelecer uma diferença entre a interpretação causal e a usual., ao que Bohm respondeu que era necessário desenvolver ainda mais a sua proposta, e melhorar as técnicas experimentais disponíveis. Mas ele enfrentou também atitudes cépticas, como a de A. Medina, e mesmo de franca contestação, como a de I. Rabi, que considerou a interpretação causal incapaz de abrir uma perspectiva de desenvolvimento da física.

7. Os desenvolvimentos do programa causal

A atividade de Bohm e de seus colaboradores – ao longo dos anos 50 – se organizou em torno de dois eixos. O primeiro, de natureza estritamente científica, dizia respeito a uma maior justificativa conceitual do modelo original; a sua generalização relativista, e à possibilidade de abordagem do domínio de campos e partículas. O segundo – de natureza mais epistemológica – visava uma maior fundamentação da escolha por descrições deterministas como mais fundamentais que descrições probabilistas. Nos concentraremos aqui no primeiro dos dois eixos.⁶

A obtenção de um modelo causal e relativista era uma exigência inscrita na própria lógica do desenvolvimento de Bohm, pois só assim se poderia falar rigorosamente, de uma equivalência entre os modelos de variáveis escondidas e a teoria quântica. Nós não discutiremos aqui a possibilidade – ou a impossibilidade – teórica de se obter esta generalização, e nem os desenvolvimentos nesta direção a partir dos anos 80. Aqui nós queremos realçar uma questão de fato, ou melhor, um fato histórico. No período de pouco mais de dez anos no qual estudamos a recepção do programa causal, os partidários deste programa não obtiveram êxito na construção de uma teoria causal relativista, apesar de todos os esforços concentrados, de Bohm, de Broglie, Vigier, e outros. O resultado mais avançado obtido foi a equação de Pauli – ainda não relativista, como se sabe – obtida por Bohm em colaboração com o brasileiro Jayme Tiomno e o norte-americano Ralph Schiller.

As tentativas de estender o programa causal à classificação do grande número de novas partículas que estavam sendo descobertas foi um dos esforços mais importantes do programa causal, mas aquela atividade, bem como os resultados obtidos, permanecem hoje largamente desconhecidos tanto pelos físicos de partículas e campos quanto pelos historiadores da física moderna. Estas pesquisas agrupavam Bohm, de Broglie, Vigier, Takabayasi, Terletski, além de um grupo de jovens físicos reunidos no Institut Henri Poincaré. A idéia diretriz dessa abordagem era tratar uma partícula subatômica como uma estrutura estendida no espaço-tempo de Minkowski, abandonando a representação (que subsiste na teoria quântica ordinária) dessas partículas como pontos nesse espaço. O desenvolvimento desse modelo permitia relacionar os diversos graus de liberdade da *partícula-estrutura-estendida* aos seus números quânticos. O resultado mais avançado nesta

⁶ As reflexões de Bohm de natureza mais epistemológicas estão reunidas no livro *Causality & Chance in Modern Physics*, 1957. Elas levaram a uma modificação na apreciação que o próprio Bohm fazia do estatuto das descrições deterministas nas leis científicas.

direção (L. de Broglie *et al*, 1963) foi a obtenção de uma classificação que reproduzia aquela proposta em 1954 por Nishijima et Gell-Mann. Esta abordagem foi contudo deslocada por outra que, naquele mesmo momento, atingiu uma grande potência explicativa e preditiva: o modelo dos quarks, formulado por Gell-Mann e Zweig, em 1963, que está na origem do que conhecemos hoje como modelo-padrão da física de campos e partículas.

8. Conclusão – a ausência de novos resultados

Da breve notícia que apresentamos da intensa atividade dos participantes do programa causal nós queremos aqui reter uma conclusão: o programa não chegou a manifestar a fecundidade esperada, atingindo apenas a reprodução dos resultados já conhecidos da física quântica não-relativista. Os partidários das variáveis escondidas não obtiveram resultados capazes de demarcar do ponto de vista empírico sua teoria de outros desenvolvimentos da física teórica, e também não foram capazes de obter novos resultados no sentido amplo que apontamos no início deste trabalho. A história do conhecimento científico, e em especial a da física, nos informa, a partir de numerosos exemplos, que um dos traços característicos de seu movimento e do surgimento de novas concepções é, precisamente, a predição de novos resultados. Neste ponto Bohm e os partidários do programa causal não obtiveram êxito. Podemos pensar, portanto, que esta foi uma das razões mais forte, e mesmo a principal, de uma recepção tão desfavorável.

Dentre as evidências que apoiam este argumento queremos destacaremos neste texto o testemunho de Mario Bunge, que prosseguiu trabalhando no programa causal por mais de dez anos após o trabalho seminal de Bohm de 1952: “todavia, como o tempo passou e a nova formulação não chegou a obter novas predições, eu comecei a ter dúvidas”. E, prossegue Bunge – dedicando-se já à época à epistemologia, o que não lhe impedia, bem ao contrário, de raciocinar como físico -, “uma teoria que não fornece resultados experimentais novos não vale mais que aquela que ela pretende deslocar. Eis porque eu perdi todo meu interesse nas variáveis escondidas.”⁷

Físicos de renome examinaram a hipótese das variáveis escondidas e a teoria de Bohm. A maior parte deles recusou-a apoiados em argumentos variados. Ela recebeu, contudo, o apoio científico de um grupo muito ativo e, além desse grupo, ela beneficiou-se de apoios mais epistemológicos. Contudo, J.T. Cushing (1994, 144) formulou recentemente a idéia que a interpretação causal teria sido recusada porque os físicos não teriam estudado-a, pois, seguindo seu “argumento da contingência” os físicos do início dos anos 50 já haviam aderido a uma interpretação, a da complementaridade, o que os teria impedido de examinar uma outra. Os elementos reunidos no presente estudo favorecem uma outra conclusão, praticamente inversa. Se seguimos a lógica do argumento de Cushing, e se ele é tomado como critério decisivo para compreender a competição entre diferentes programas científicos, chegaríamos à conclusão que um programa que já recebeu a adesão de uma comunidade de cientistas não pode sofrer derrotas, ser abandonado e substituído por outro. Mas a lição da história da física, desde fins do século XIX, é

⁷ M. Bunge, carta a O. Freire Jr., 12.2.1997.

completamente outra: a física conheceu mudanças importantes, no que pese concepções bem fundadas e enraizadas. Devemos reconhecer, contudo, que Cushing não considera de modo sistemático a contingência histórica como o único critério de escolha entre teorias científicas. Como ele mesmo indica, este critério só se torna importante em certas conjunturas críticas.⁸

D. Peat (1996, 133) expôs teses próximas das de Cushing, supondo a existência, entre os físicos da época, de uma “conspiração do silêncio” face à teoria de Bohm. Sua análise é, contudo, insuficientemente fundamentada em fontes históricas, ainda que ele tenha consultado a correspondência pessoal de Bohm. Ele não levou em conta nem mesmo os artigos publicados que analisamos neste trabalho. Ele estima que, entre os físicos de Princeton, considerações políticas teriam jogado – na rejeição da interpretação causal – um papel mais importante que aquelas de natureza científica. Reiteramos, contudo, que se critérios não racionais podem jogar um papel significativo no curto prazo – no que concerne a recepção de novas teorias físicas -, a longo prazo são critérios mais objetivos que tendem a prevalecer.

Referências

- Bohm, D. 1952 - A Suggested Interpretation Of The Quantum Theory In Terms Of ‘Hidden Variables’, I & II - *Phys Rev*, 85(2), 166-179 & 180-193.
- Cushing, J.T. 1994 - *Quantum Mechanics. Historical Contingency and the Copenhagen Hegemony*, Univ of Chicago Press.
- David Peat, F. 1996 - *Infinite Potential. The Life and Times of David Bohm*, Addison-Wesley.
- De Broglie, L., *et al.* 1963 - Rotator Model of Elementary Particles Considered as Relativistic Extended Structures in Minkowski Space, *Phys Rev*, 129(1),438-50.
- Freire Jr., O. 1997 - Quantum Controversy and Marxism”, *Historia Scientiarum*, Vol. 7(2), 137-52.
- Freire Jr., O. 1999 - David Bohm e a controvérsia dos quanta’, Coleção CLE, 26, Campinas, a aparecer
- Paty, M. 1993 – Sur les variables cachées de la mécanique quantique: Albert Einstein, David Bohm et Louis de Broglie, *La Pensée*, n. 292, 93-116.
- Paty, M. 1995 - The Nature of Einstein's Objections to the Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics”, *Found of Phys*, 25(1),183-204.
- Pauli, W. 1996 - *Scientific Correspondence*, Vol IV Part I, Springer.

⁸ J. Cushing, carta a O. Freire Jr., 17.07.1998. Para as críticas de Cushing à análise de David Peat comentada mais adiante ver *Physics Today*, 50, 1997.