

Fragments do paradoxo EPR em um trecho de divulgação científica: uma pesquisa de cunho exploratório com ingressantes na universidade⁺*

André Coelho Silva¹

Doutorando em Educação – Unicamp

Maria José Pereira Monteiro Almeida²

Faculdade de Educação – Unicamp

Maira Lavalhegas Hallack³

Mestranda em Educação – Unicamp

Campinas – SP

Resumo

Considerando a já bem documentada pertinência em se introduzir temas de Física Moderna e Contemporânea, especialmente de Física Quântica, no Ensino Médio, apresentamos, num primeiro momento, uma síntese do paradoxo de Einstein, Podolsky e Rosen (paradoxo EPR), procurando esboçar suas possibilidades para a física escolar. Já num segundo momento, como maneira de sondar essas possibilidades, pautados em noções da Análise de Discurso em sua vertente iniciada por Michel Pêcheux, analisamos como estudantes ingressantes na universidade produziram sentidos sobre o assunto a partir da leitura de fragmentos de um texto de divulgação científica. Embora a maioria dos participantes tenha relatado dificuldades na breve leitura realizada – o que julgamos normal tendo em vista as condições de produção imediatas e a provável novidade do assunto para os mesmos –, ela parece lhes ter proporcionado pequenos incrementos/construções em suas histórias de leitura sobre o assunto.

⁺ Fragments of EPR paradox in a scientific divulgation excerpt: an exploratory survey of freshmen at university

* *Recebido: janeiro de 2014.*

Aceito: setembro de 2014.

¹ E-mail: andco_8@yahoo.com.br

² E-mail: mjpma@unicamp.br

³ E-mail: lavalhegas@gmail.com

Palavras-chave: *Paradoxo EPR. Física Quântica; Leitura de divulgação científica; Ensino Médio.*

Abstract

Considering the well-documented pertinence in introducing topics of Modern and Contemporary Physics, especially of Quantum Physics, in High School, this study firstly presents an overview on the Einstein, Podolsky and Rosen paradox (EPR paradox), in an attempt to outline their possibilities for Physics teaching at school. Secondly, in order to probe these possibilities, guided by principles of Discourse Analysis by Michel Pêcheux, the research analyzes how first year students at University produce meanings on the subject, by reading fragments of a scientific divulgation text. Although most of the participants have reported difficulties in the short reading performed – which may be considered natural in view of the immediate production conditions, and the newness of the subject for them –, this experiment seems to have provided students increments/constructions in their reading on the subject.

Keywords: *EPR Paradox; Quantum Physics; Scientific divulgation reading; High School.*

I. Introdução

A pertinência em se introduzir elementos de Física Quântica (FQ) no Ensino Médio (EM) vem sendo sinalizada por diversos pesquisadores da área de ensino de física. Entre as justificativas oferecidas para sustentar essa pertinência estão: os efeitos da FQ sobre a tecnologia moderna e a variedade de fenômenos por ela explicados (GRECA; MOREIRA, 2001); sua importância no que diz respeito à mudança de concepção de mundo e de postura diante da vida do homem moderno (CAVALCANTE; TAVOLARO, 2001); e sua capacidade em explicar fenômenos que a Física Clássica não explica (PINTO; ZANETIC, 1999).

Em síntese, a pertinência em abordar a FQ no EM “parece ser cada vez mais consensual entre os pesquisadores do Ensino de Física.” (SILVA; ALMEIDA, 2011, p. 646).

Se, por um lado, são muitas as justificativas, por outro lado, são muitas também as dificuldades associadas a essa inserção: a complexidade conceitual e matemática envolvida (PEREIRA *et al.*, 2012); o distanciamento da FQ em relação à Física Clássica – a qual também se distancia do senso comum (PINTO; ZANETIC, 1999); a dificuldade em realizar experimentos que envolvam tópicos de FQ (PINTO; ZANETIC, 1999); a questão da formação dos professores (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHOS, 2009); entre outras.

Outros possíveis entraves à efetivação dessa inserção são os fatos de que há um número reduzido de aulas semanais de física no EM, de que o currículo desta disciplina já é bastante extenso e de que a FQ abrange muitos tópicos. Nesse sentido, já no final dos anos 90, uma pesquisa apontava que físicos, pesquisadores em ensino de física e professores de física do EM indicaram como temas de Física Moderna e Contemporânea⁴ relevantes para a inserção no EM: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, radioatividade, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios-X, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, entre outros (OSTERMANN; MOREIRA, 1998) – alguns dos quais podemos identificar como sendo tópicos de FQ.

Outro tópico de FQ que julgamos poder ser trabalhado no EM é o paradoxo de Einstein, Podolsky e Rosen (EPR). O estudo desse tópico propiciaria aos estudantes a possibilidade de entrarem em contato com conceitos fundamentais da quântica, como o de emaranhamento, de realizarem discussões filosóficas inerentes à controvérsia apresentada por EPR e de compreenderem algumas inter-relações entre desenvolvimentos teóricos e possibilidades tecnológicas (POSPIECH, 1999).

Tendo em vista essas breves considerações, numa primeira parte deste estudo apresentamos uma síntese do paradoxo EPR e esboçamos suas possibilidades quando pensado como tópico para a física escolar. Frisamos que essa síntese não objetiva abordar detalhadamente o assunto, mas sim, oferecer ao leitor algumas noções sobre o assunto.

Já numa segunda parte do trabalho, visando contribuir para se pensar sua inserção na física do EM, apresentamos os resultados de uma pesquisa exploratória realizada com estudantes ingressantes na universidade que consideramos recém egressos da escola secundária. Buscamos compreender como eles interpretavam elementos do paradoxo EPR a partir da leitura de fragmentos de um texto de divulgação científica.

II. Uma síntese do paradoxo EPR

Os desenvolvimentos da Mecânica Quântica (MQ) têm trazido consigo algumas controvérsias, especialmente no que diz respeito aos fundamentos filosóficos dessa teoria. Uma delas ficou conhecida como o paradoxo de Einstein, Podolsky e Rosen (paradoxo EPR) - controvérsia essa travada entre os grupos liderados por Albert Einstein e por Niels Bohr.

O primeiro grupo era contrário, em termos de interpretação filosófica, à direção para a qual a MQ estava sendo levada pelo grupo de Bohr. Dessa forma, em 1935, Albert Einstein,

⁴ Akryll (1991) *apud* Sun e Lau (1996) afirma que os desenvolvimentos da física podem ser divididos em três períodos: a Física Clássica, ou seja, a física de Newton e a teoria do Eletromagnetismo; a Física Moderna, que teria se iniciado no final do século XIX, englobando, portanto, a teoria da Relatividade de Einstein e a Mecânica Quântica; e a Física Contemporânea, que englobaria os desenvolvimentos ocorridos após a Segunda Guerra Mundial. No Brasil, a grande maioria dos pesquisadores em ensino de física adota a expressão Física Moderna e Contemporânea (FMC) para designar os desenvolvimentos da física ocorridos a partir do final do século XIX. Dessa forma, assim o fazemos também neste trabalho.

Boris Podolsky e Nathan Rosen publicaram na revista “Physical Review” o artigo intitulado “A descrição da realidade física fornecida pela mecânica quântica pode ser considerada completa?”⁵.

Nesse artigo, pautados em um experimento mental onde analisaram a posição e o momento linear de duas partículas que teriam interagido, os autores desenvolveram uma linha argumentativa que procurava mostrar a incompletude da teoria quântica quando interpretada seguindo os padrões do grupo de Bohr, o qual, por sua vez, alguns meses depois, publicou um artigo rebatendo as críticas por meio do argumento de que a lógica usada por Einstein e seus colegas era aplicável apenas à Física Clássica. De maneira mais específica, Bohr questionou o critério de realidade utilizado no argumento de EPR (BISPO e DAVID, 2011; LEHNER, 2011).

Historiadores da ciência sugerem que foi Podolsky quem escreveu o artigo e que Einstein ficou insatisfeito com o rebuscamento do argumento utilizado. Em carta a Erwin Schrödinger ainda em 1935, Einstein procurou explicitar a simplicidade de seu argumento. Para isso, a fim de evidenciar como entendia a noção de completude, iniciou a escrita da carta com a seguinte analogia: em certo local, há duas caixas com tampas fechadas, sendo que em apenas uma há uma bola dentro. Antes de abri-las existe a probabilidade de 50% de a bola estar em cada caixa. Se acreditarmos que essa não é uma descrição completa da situação, estamos pressupondo que existe um estado objetivo, independente da abertura das caixas (princípio do realismo). Já se consideramos que essa descrição é completa, estamos pressupondo que não existe realidade objetiva, isto é, que seria o ato de abrir a caixa que produziria o fato de a bola estar dentro de uma delas. Ao assumir que não está claro como definir qual das duas interpretações é correta, Einstein propõe também o chamado princípio da localidade: se não há interação entre as caixas, o que está dentro de uma independe do conteúdo da outra. Assim, se, ao abrir a primeira, verificamos que a bola não está lá, podemos dizer que, mesmo antes disso, a bola já estava na outra, pois a abertura da primeira não pode ter afetado instantaneamente o conteúdo da segunda (LEHNER, 2011). Em outras palavras: se a bola já estava na outra caixa antes da abertura da primeira, o princípio do realismo, isto é, de que a realidade existe antes da observação, constituir-se-ia como a interpretação correta. Vale ressaltar ainda que o princípio da localidade é coerente com a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein, a qual, por incluir a consideração de que a velocidade da luz é o limite superior de velocidades, sugere que não existem ações instantâneas.

É possível notar que o aspecto central do paradoxo EPR é de cunho filosófico, pois reside na concepção de realidade. A posição de Einstein supõe que a realidade já está dada antes mesmo da realização de uma medida sobre uma grandeza física. Ou seja, o ato de medir uma grandeza física apenas revela o seu valor – princípio do realismo.

⁵“Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?”

Além da relevância filosófica da discussão do realismo e da localidade, a abordagem do paradoxo EPR no ensino pode também favorecer a produção de sentidos acerca de aspectos históricos, como a participação de Einstein no surgimento da MQ (DIONÍSIO, 2005) e sua recusa em aceitar a interpretação não determinística que a ela estava sendo dada pelo grupo de Bohr; e acerca de aspectos relacionados à natureza da ciência, como a oposição de ideias característica do desenvolvimento científico.

Outro elemento que pode vir a ser destacado quando se aborda o paradoxo EPR é o fenômeno do “emaranhamento”. Como já mencionamos, no artigo publicado em 1935, EPR procuraram caracterizar a MQ como incompleta. O argumento era o de que se aceitarmos o princípio da localidade como válido, necessariamente teremos de aceitar também a validade do princípio do realismo. Consequentemente, a MQ não conseguiria prever uma realidade já existente antes da observação/medida. EPR indicaram pela primeira vez a possibilidade (criticada por eles) da existência de uma ação instantânea à distância entre partículas, algo como se uma partícula “soubesse” o que acontece com a outra (OLIVEIRA; VIEIRA, 2009) – fenômeno posteriormente batizado por Schrödinger de emaranhamento (CUNHA, 2004).

Vale dizer ainda que num primeiro momento (nos primeiros anos após o artigo de EPR), o próprio Bohr também não acreditava na possibilidade de distúrbios instantâneos à distância (LEHNER, 2011). Sua postura em relação à interpretação da MQ, subentendia, todavia, que a realidade não está definida antes da realização da medida, isto é: antes de se realizar a medida o valor da grandeza física está indefinido. É o ato de medir/observar que faz com que a grandeza física assuma determinado valor – interpretação não-realista da MQ.

Em 1951, David Bohm propôs pensar o experimento mental de EPR com variáveis bivalentes, tal como o *spin* de duas partículas correlacionadas, o que trouxe maior simplicidade matemática ao estudo do tema (BISPO; DAVID, 2011).

Por muito tempo a discussão associada às interpretações de Einstein e Bohr não teve muito destaque, pois estava polarizada, sobretudo, em aspectos filosóficos. Foi apenas na década de 60 do século XX que o interesse na controvérsia e nos fundamentos da MQ, de maneira geral, foi retomado mais fortemente. Utilizando-se da formulação de Bohm e partindo dos princípios do realismo e da localidade, John Bell formulou um teorema cuja demonstração se dá por meio de desigualdades, as desigualdades de Bell. Teorias realistas locais, isto é, que respeitam os princípios do realismo e da localidade, satisfazem essas desigualdades, diferentemente do que acontece com a MQ (BISPO; DAVID, 2011; LEHNER, 2011).

No final da década de 60 do século XX, Clauser, Horne, Shimony e Holt generalizaram a desigualdade proposta por Bell (a desigualdade proposta por eles ficou conhecida como CHSH) e propuseram um experimento que permitiria testá-la. Dessa forma, as desigualdades se constituíram como critério experimental para investigar se a MQ é uma teoria não-realista-local ou se ela é limitada, incompleta nos termos de EPR - possibilidade esta preferida também por Bell. Violar experimentalmente as desigualdades equivaleria à primeira opção (BISPO; DAVID, 2011; LEHNER, 2011).

Na década de 70, diversos testes experimentais foram realizados. Quando esses testes eram feitos com sistemas da física clássica, os resultados apontavam para a adequação dos princípios da realidade e da localidade, isto é, para a não violação das desigualdades de Bell. Contudo, quando os testes foram feitos com sistemas quânticos, mais especificamente com fótons polarizados, verificou-se a violação das desigualdades. Nesse sentido, os resultados do rigoroso experimento realizado por Alain Aspect e colaboradores no início da década de 80 foram fundamentais para o aumento do número de cientistas que passaram a recusar a hipótese do realismo local no que diz respeito à MQ, o que se constituiu como uma importante vitória para a interpretação defendida pelo grupo de Bohr (FREIRE JR., 1991; OLIVEIRA; VIEIRA, 2009; BISPO; DAVID, 2011; LEHNER, 2011).

Embora esses resultados tenham sido fundamentais no que diz respeito à aceitação da existência do emaranhamento e da interpretação de Bohr, eles não significaram um fim para a discussão a respeito da interpretação dos fenômenos quânticos⁶. Freire Junior e Greca (2013) destacam que conferências organizadas por críticos à interpretação do grupo de Bohr (conhecida atualmente como “interpretação de Copenhague”) foram realizadas em Oviedo (Espanha) a partir de 1993 com o intuito de discutir os fundamentos da teoria quântica e a possibilidade de interpretações alternativas e de modelos que permitam conservar os princípios do realismo e da localidade.

Ainda segundo esses autores, o debate acerca das interpretações da MQ tem ressurgido fortemente como consequência de desenvolvimentos recentes como a publicação em 2012 de um teorema por Matthew Pusey, Jonathan Barrett, and Terry Rudolph, o chamado teorema PBR, o qual pode ser enunciado da seguinte maneira: ou há correspondência entre os estados quânticos e os objetos físicos reais, ou então todos os estados quânticos, incluindo os não-emaranhados, podem se comunicar à distância.

Cabe ainda ressaltar a associação que é feita entre o paradoxo EPR e desenvolvimentos como: I) o “teletransporte quântico” - em que o estado quântico de entidades microscópicas é transmitido (OLIVEIRA; VIEIRA, 2009); II) a “criptografia quântica” – transmissão de informações de maneira mais segura (FREIRE JUNIOR; GRECA, 2013); III) a criação de procedimentos de metrologia – auxiliando, portanto, a realização de medidas espectroscópicas, de posicionamento global, entre outras (SOUZA, 2008) e IV) o “computador quântico” – computadores cuja expectativa é de que sejam muito mais velozes que os atuais (FREIRE JUNIOR; GRECA, 2013). Mais especificamente a respeito da computação quântica, muitos cientistas estão trabalhando nessa área, inclusive os ganhadores do prêmio Nobel de física de 2012.

No que se refere à divulgação pública de questões relacionadas ao paradoxo EPR, o assunto costuma ser bastante divulgado pela mídia, seja por revistas de divulgação científica

⁶ Segundo Cunha (2004, p. iv), até mesmo os experimentos de violação das desigualdades de Bell são seguidos, “por alguns contra-argumentos sobre situações não completamente controladas e que podem afetar os resultados”. Ponderação semelhante também pode ser encontrada em Lehner (2011).

ou por jornais diários. Para ilustrar esse fato, apresentamos a seguir três trechos de reportagens que foram veiculadas na seção “Ciência” do jornal “Folha de São Paulo” *online*, cabendo ressaltar que optamos por não incluir como exemplos as muitas matérias consequentes ao anúncio do vencedor do prêmio Nobel de física de 2012:

Se um dia for possível ter um palmtop com a capacidade de um supercomputador, um passo nessa direção foi dado agora por uma equipe de físicos brasileiros e alemães. Eles conseguiram pela primeira vez fazer medições diretas do ‘emaranhamento’, uma propriedade das partículas elementares que ajudará na construção dos futuros computadores quânticos (Construção de computador quântico fica mais próxima. Ricardo Bonalume Neto, Seção “Tec”, 20/04/2006).

O fenômeno do emaranhamento quântico por si só tem uma história notável na física – previsto por Albert Einstein em 1935, foi comprovado experimentalmente só nas décadas de 1970 e 1980. Einstein, na verdade, concebeu a primeira teoria do fenômeno para tentar mostrar que a física quântica seria inconsistente. Segundo ele, ela previa que duas partículas de luz poderiam ficar conectadas por uma ‘ação fantasma a distância’, de modo que uma alterasse o estado da outra instantaneamente ao ser manipulada. Como isso seria possível? [...] Não era a teoria que estava errada, porém. A realidade é que era mais estranha do que se achava. Uma partícula de luz emaranhada a outra só assume suas características quando é medida e essa medição determina as características que a outra vai assumir à distância. É como se houvesse uma ligação ‘telepática’ entre elas (Experimento na USP mostra base de internet do futuro. Rafael Garcia, Seção “Ciência”, 18/09/2009).

A resposta dada por Bohr meses depois é um primor: seu foco não é o experimento em si. É, na verdade, uma réplica de natureza filosófica que conclui que uma partícula ‘sente’ instantaneamente o que acontece com a outra, mesmo que estivessem separadas por distâncias astronômicas. E explica: ao interagir, as duas passam a fazer parte de um só sistema - grosso modo, são inseparáveis. Hoje, o emaranhamento, fenômeno bizarro que permite essa ‘telepatia’ quântica, é corriqueiro nos laboratórios – inclusive no Brasil (A trilogia Bohr. Cássio Leite Vieira e Antonio Augusto Passos Videira, Seção “Ilustríssima”, 02/06/13).

Dado o até aqui exposto, ao assumirmos a relevância da escola em preparar os estudantes para produzirem sentidos sobre os discursos que circulam em nossa sociedade (SILVA; ALMEIDA, 2005), o paradoxo EPR pode ser pensado como um dos tópicos de FQ que podem favorecer abordagens dessa natureza. Nesse sentido, apresentamos a seguir uma pesquisa de cunho exploratório⁷ realizada com estudantes que, tendo concluído o EM, estavam ingressando na universidade.

⁷ Segundo Gerhardt e Silveira (2009), uma pesquisa exploratória pode ter como um de seus objetivos proporcionar maior familiaridade com o problema a ser investigado.

III. A leitura de fragmentos do paradoxo EPR por ingressantes na universidade

III.1 Apoio teórico-metodológico e leitura

Utilizamos como apoio teórico-metodológico algumas noções apresentadas por Eni Orlandi, a qual trabalha no campo da Análise de Discurso (AD) em sua vertente iniciada na França por Michel Pêcheux.

Na AD procura-se compreender como se dá a produção de sentidos. Para isso, parte-se da consideração de que há uma relação constitutiva entre a linguagem e a exterioridade, esta entendida como as condições de produção do discurso, as quais englobam o contexto imediato, os interlocutores e o contexto sócio-histórico (ORLANDI, 1987).

A AD assume a não transparência da linguagem, do que decorre que há um processo de produção de sentidos que depende das condições de sua produção, isto é, que as palavras não detêm sentidos em si, que os sentidos não dependem apenas das intenções dos sujeitos, que não há relação unívoca entre linguagem, pensamento e mundo. A linguagem não é mero instrumento para transmitir um sentido preexistente. Ao se mudar aspectos das condições de produção, mudam-se os sentidos produzidos (ORLANDI, 2005), o que justifica nossa escolha pela AD, uma vez que pretendemos remeter as falas dos estudantes a aspectos das condições de suas produções.

Vale dizer ainda que embora a linguagem não seja transparente, há, entretanto, cristalização, estabilização, legitimação, sedimentação, regência, administração de sentidos. Em certas condições de produção há a dominância de um sentido. Há também o que se conhece por "sentido literal" da palavra. Entretanto, essa dominância, essa literalidade, é produto da história, da memória. Além disso, também há modos historicamente determinados de se interpretar e especialistas que controlam a interpretação, tais como professores, juízes, padres etc. (ORLANDI, 2005).

Segundo a AD, ao utilizarmos a linguagem estamos sempre retomando o já-dito: "Para que minhas palavras tenham sentido é preciso que elas já façam sentido." (Ibidem, p. 34). Dessa forma, distinguem-se três formas de repetição: a empírica (mnemônica), a formal (técnica) e a histórica. A primeira seria o "efeito papagaio", a cópia; a segunda seria outro modo de dizer o mesmo, o "dizer com suas palavras"; já a terceira seria a que desloca, a que historiciza o dizer e o sujeito. Nessa conjuntura, as possibilidades da escola estariam em levar os estudantes a passarem da repetição empírica para a repetição histórica, passando pela repetição formal (ORLANDI, 1998).

Nossa escolha em buscar compreender exploratoriamente quais seriam os sentidos produzidos por estudantes a respeito do paradoxo EPR a partir de uma leitura justifica-se considerando a complexidade da FQ em termos matemáticos e acreditando na importância em se trabalhar a leitura, pois conforme Almeida e Mozena (2000):

[...] A leitura permite a diversidade de informações sobre assuntos variados possibilitando o exercício da visão crítica [...] embora existam outros meios para a ob-

tenção de informações, o texto escrito ainda é o meio que mais permite a abrangência de opiniões e o aprofundamento em temas variados [...] (p. 426).

É importante lembrar ainda que, embora a produção do conhecimento físico seja feita utilizando-se prioritariamente a linguagem matemática, no ensino de física, é desejável que haja destaque para a chamada “linguagem comum” (ALMEIDA, 2004). Além disso, por estarem acostumados a se expressar e a elaborar seus pensamentos nessa linguagem, estudantes iniciantes costumam ter problemas na utilização e compreensão do formalismo matemático inerente à física (ALMEIDA; MOZENA, 2000).

Uma das maneiras de se trabalhar tópicos de ciência e leitura na chamada “linguagem comum” é utilizando-se textos de divulgação científica (DC). No Ensino de Ciências essa estratégia vem sendo estudada por diversos pesquisadores: Silva e Kawamura (2001), Martins, Nascimento e Abreu (2004), Silva e Almeida (2005), Zanotello e Almeida (2007), Nigro (2010), Nigro e Trivelato (2010), Silva e Almeida (2014) entre muitos outros.

A expectativa é de que a leitura de textos de DC possa contribuir para que os estudantes: produzam sentidos sobre o conhecimento científico; manifestem suas próprias posições sobre o assunto tratado; tragam para o debate assuntos relacionados ao seu cotidiano; sejam motivados para determinado tema e para a leitura em geral; tenham contato com aspectos da natureza da prática científica e incrementem suas histórias de leitura (GAMA; ALMEIDA, 2006). Além disso, é provável que a atualização de conhecimentos “torne-se uma consequência promovida pelo uso de textos de divulgação científica.” (SILVA; KAWAMURA, 2001, p. 318), uma vez que boa parte dos textos desse gênero aborda assuntos atuais. Dessa forma, uma das possibilidades para o uso de textos de DC seria viabilizar a inserção na escola básica de alguns dos tópicos de FQ, por exemplo.

Parece ser importante ressaltar que a questão da linguagem também se constitui como um problema no que diz respeito ao desenvolvimento da MQ. Defensores da chamada interpretação de Copenhagen, tais como Bohr e Heisenberg, por exemplo, sugerem que a descrição dos fenômenos do mundo microscópico passa necessariamente pela utilização de uma linguagem apropriada apenas para o mundo macroscópico, isto é, das linguagens da física clássica ou do senso comum (PAULO; MOREIRA, 2011). Por outro lado, sugerem que a própria utilização da linguagem clássica para a descrição de fenômenos quânticos pode acarretar mudanças em sua lógica. Em termos coerentes com a AD, poderíamos dizer que embora as palavras sejam as mesmas, filiações a outras regiões da memória discursiva poderiam acontecer, o que significa a retomada de outros sentidos e conseqüentemente de um processo de estabilização dos mesmos.

Como os textos de DC costumam ser escritos numa linguagem mais acessível a um público não/pouco conhecedor do assunto, numa linguagem próxima à linguagem de quem frequenta a escola (ALMEIDA, 2010), parece-nos que a utilização desses recursos para o ensino de tópicos de FQ acaba por dialogar com as considerações dos membros da Escola de Copenhagen no que diz respeito ao problema da linguagem, especialmente com relação à ne-

cessária adoção de uma linguagem mais próxima da linguagem da física clássica. Admitimos, assim, uma maior proximidade entre a linguagem da física clássica e a linguagem dos estudantes.

Em relação à leitura, segundo a AD, já na escrita de um texto inscreve-se um leitor virtual, um leitor imaginário para quem o autor do texto está se dirigindo. Logo, quando o leitor real lê, ele não está interagindo com o próprio texto, mas, na verdade, interagindo, debatendo, com esse leitor virtual inscrito nele. Mesmo que a leitura seja parafrástica (maior coincidência entre leitores virtual e real), esse reconhecimento de sentido já é uma inferência, uma ação do leitor real (ORLANDI, 1987; ORLANDI, 2000).

III.2 Condições de produção da leitura

A coleta de informações foi realizada junto a cinquenta ingressantes que aguardavam para fazer a matrícula nos cursos de Física e Matemática de uma universidade pública do Estado de São Paulo em 2011. Ao conversar com os ingressantes para solicitar a participação na pesquisa, os primeiro e terceiro autores deste trabalho se apresentaram como alunos do curso de Licenciatura em Física. Após obter o aceite de cada estudante, pedimos que lessem um pequeno texto e respondessem um questionário por escrito. O nome, o curso e as respostas eram escritos pelos próprios participantes. Por questões éticas, deixávamos claro, também, que suas opiniões eram sigilosas.

Algumas particularidades da situação: o horário da efetuação de matrícula era das 9h às 12h, porém, houve muita concentração no período das 9h às 10h30min, o que dificultou conseguirmos maior quantidade de colaboradores para a pesquisa por ser muito grande o fluxo de ingressantes. Vale também destacar que a escolha dos participantes entre os estudantes que efetuavam a matrícula foi aleatória. Ressaltamos, entretanto, que na fila estavam apenas estudantes que haviam passado no vestibular e iriam cursar a graduação em Matemática ou Física. Ao final, agradecíamos a participação e desejávamos boa sorte ao ingressante na universidade.

A fim de trabalharmos com sujeitos que muito provavelmente desconheciam o paradoxo EPR, optamos por analisar apenas as respostas dos estudantes cujo último contato formal com a física havia ocorrido no EM ou no chamado “cursinho” (curso preparatório para os vestibulares). Assim, foram analisadas as respostas de 45 estudantes – os outros cinco eram reingressantes na universidade.

Como já haviam passado no vestibular de uma universidade pública paulista, os ingressantes que participaram da sondagem não eram propriamente representantes da média dos alunos do EM. Dessa forma, a escolha desses estudantes foi pensada como maneira de propiciar uma amostragem variada de escolas. Essa escolha, entretanto, só se justifica por se tratar de uma primeira sondagem, de uma pesquisa de cunho exploratório.

Depois de lhes ter sido solicitado que participassem da pesquisa e antes de responderem ao questionário, os estudantes leram o seguinte trecho, composto com fragmentos retirados do texto de DC de Oliveira e Vieira (2009):

Em 1935, um artigo com o título “Podemos considerar completa a descrição quântica da realidade?” foi publicado no volume 47 de Physical Review, importante periódico norte-americano de física. Os autores eram três influentes físicos do Instituto de Estudos Avançados de Princeton: Einstein e dois colaboradores, Boris Podolsky e Nathan Rosen. O trabalho pretendia demonstrar que a mecânica quântica era uma teoria incompleta e que, portanto, não poderia ser a “palavra final” sobre o comportamento da matéria microscópica.

Os autores começavam o artigo definindo o que seria um “elemento de realidade”. Segundo eles, um elemento de realidade é qualquer quantidade física cujo valor pode ser previsto antes que uma medida seja feita. Por exemplo, a posição da bola chutada pelo atacante pode ser prevista antes que cada um dos senhores abra o olho e faça a medida. Portanto, é um elemento de realidade. A ideia de que as propriedades físicas de objetos (massa, posição, energia ou velocidade de uma bola) existam antes que medidas sejam feitas sobre eles é chamada realismo pelos físicos.

[...] No artigo do EPR (Einstein, Podolsky e Rosen), era apontada, pela primeira vez, uma estranha propriedade de sistemas quânticos compostos: a medida de uma grandeza em uma parte do sistema afeta o comportamento de outra grandeza em outra parte, mesmo que esta esteja remotamente separada da primeira. [...] (p. 66-67).

Apesar de curto, esse pequeno excerto evidencia: a) que EPR pretendiam demonstrar a incompletude da MQ (1º parágrafo); b) as noções de elemento de realidade e de realismo (2º parágrafo); c) a existência de uma ação à distância, mais especificamente do emaranhamento (3º parágrafo). Além disso, especialmente a partir da leitura do primeiro parágrafo, podemos inferir a presença de controvérsias na ciência.

III.3 As interpretações dos estudantes acerca do Paradoxo EPR

Tendo em vista nossa compreensão do texto lido e noções da AD, além de realizarmos levantamentos junto à totalidade das respostas, analisamos quais foram os aspectos destacados pelos estudantes. Considerando as condições de produção da atividade, analisamos também que tipos de repetição se fizeram presentes em suas respostas, lembrando que as repetições empírica e formal remetem a elementos das condições de produção imediatas envolvidas, enquanto que a repetição histórica remete também a elementos das condições de produção sócio-históricas.

A primeira pergunta do questionário era: “Se você fosse contar a alguém o que leu nesse texto, o que você contaria?”.

Antes de passarmos às análises é importante destacar que a pergunta pedia para que os ingressantes imaginassem alguém para quem contariam o que haviam acabado de ler. Entretanto, é possível que eles tenham redigido suas respostas imaginando como interlocutores os pesquisadores licenciandos em física responsáveis pela coleta de informações. Em termos coerentes com a AD, poderíamos dizer que os ingressantes podem ter inscrito em suas respostas leitores virtuais compatíveis com aqueles que solicitaram a participação deles na pesquisa, o que se constitui como componente das condições de produção imediatas da sondagem.

Em um primeiro momento de análise, verificamos se as respostas dos ingressantes a essa questão abordavam ou não os aspectos que havíamos compreendido como centrais de cada um dos parágrafos do texto lido por eles (conforme descrito no último parágrafo da seção III.2).

Apresentamos a seguir algumas respostas⁸:

Que Einstein e mais dois físicos se juntaram para provar que a teoria da mecânica quântica está incompleta. Ilda

Que o texto fala sobre um experimento feito por Einstein sobre uma variável física chamada 'elemento de realidade'. Everaldo

Que sistemas quânticos compostos tem uma grandeza que afeta o comportamento de outra grandeza em outra parte do sistema, mesmo esta estando remotamente separada da primeira. Januário

Diria que alguns autores contestam a teoria da mecânica quântica, a qual não foi bem definida pelo texto e que o realismo para os físicos é a ideia que as propriedades físicas dos objetos existem antes que possam ser observadas. Heverton

Contaria que o artigo escrito por Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen pretendia demonstrar que a mecânica quântica não descreve completamente a realidade. Pois em sistemas quânticos compostos a medida de uma grandeza em uma parte do sistema afeta o comportamento de outra, mesmo que distante. Iago

Contaria que li sobre um artigo relacionado à discussão feita por três físicos influentes sobre quão completa é a descrição da realidade por meio da física quântica e que para isso explicaram que um elemento da realidade é aquele previsto antes de cálculos e que este influencia outro independentemente de estarem separados. Tereza

Podemos notar que a resposta de Ilda aborda o aspecto a), a resposta de Everaldo aborda o aspecto b), a resposta de Januário aborda o aspecto c), a resposta de Joaquim aborda

⁸ Optamos por manter as grafias originais das respostas e os nomes são fictícios, tendo sido escolhidos aleatoriamente, até mesmo no que diz respeito a questões de gênero.

os aspectos a) e b), a resposta de Iago aborda os aspectos a) e c) e a resposta de Tereza aborda os aspectos a), b) e c).

Considerando a totalidade das respostas, construímos a Tabela 1:

Tabela 1: Aspectos destacados pelos ingressantes

Aspecto(s) destacado(s)	a), b) e c)	a) e b)	a) e c)	b) e c)	a)	b)	c)
Número e porcentagem de ingressantes	2 (4,4%)	6 (13,3%)	1 (2,2%)	0	10 (22,2%)	12 (26,7%)	4 (8,9%)

As respostas de 35 dos 45 ingressantes, isto é, 77,7% delas (soma das porcentagens apresentadas na Tabela 1), abordam um ou mais dos pontos que consideramos centrais no texto, o que parece evidenciar que a maioria dos ingressantes produziu minimamente sentidos sobre o paradoxo EPR a partir da breve leitura realizada.

Por outro lado, ainda no que diz respeito à primeira questão, 22% dos ingressantes ou não a responderam, ou deram respostas demasiadamente gerais ou sintéticas. Nesses casos não houve indício de que os ingressantes produziram sentidos relacionados aos três aspectos apontados a partir de nossa compreensão do texto. O não entendimento da pergunta, dificuldade na interpretação do texto ou até mesmo certo desinteresse pelo assunto, ainda que momentâneo e influenciado pela peculiar condição de produção imediata das informações, podem ter contribuído para esse resultado.

Apresentamos a seguir algumas dessas respostas:

Que Einstein era um gênio e que a física é muito foda. Nickson

Que eu li um texto sobre física moderna. Nadson

Contaria que o texto comenta a física quântica. Dalton

Que é um texto complicado, mas trata de um assunto interessante. Denner

Que ainda não foi descoberto tudo sobre física quântica. John

Embora representando respostas extremamente genéricas, esses cinco exemplos não são idênticos. Nickson pode apenas ter notado que o texto falava de Einstein, produzindo os sentidos que sua memória permitiu sem ter em conta a principal condição de produção imediata para a produção da resposta, ou seja, a leitura do texto. Nadson e Dalton remeteram para o tema do texto de maneira bastante genérica. Denner manifestou sua opinião sobre o texto, sem, contudo, explicitar que sentido produziu a partir dele. Já na resposta de John podemos notar uma possível surpresa. O questionamento acerca da completude da Mecânica Quântica na questão título do artigo de EPR parece ter tido grande impacto sobre sua produção de sentidos.

Caso o paradoxo EPR viesse a ser trabalhado em sala de aula, a resposta de Nickson aponta ainda outra possibilidade para a discussão: contribuir para a desmitificação da figura de Einstein enquanto gênio infalível, afinal, a postura filosófica criticada por ele (a de Bohr) se mostrou altamente frutífera em termos científico-tecnológicos, sendo atualmente a interpretação quântica dominante entre os físicos (a chamada “interpretação de Copenhagen”). Nesse sentido, a ideia da genialidade pode atuar como obstáculo no que diz respeito à compreensão de aspectos da natureza da ciência, como sua dimensão histórico-social e seu caráter não linear. Por outro lado, o combate a essa ideia não significa menosprezar a importância dos trabalhos desenvolvidos por cientistas como Einstein, Newton, Galileu etc., mas sim, não supervalorizá-los. Erros fazem parte do processo de desenvolvimento da ciência.

Em termos da noção de repetição e sua classificação em três níveis, verificamos que 67% dos ingressantes formularam suas respostas à primeira questão utilizando técnicas como substituir palavras do texto por palavras sinônimas. Portanto, suas respostas podem ser classificadas como repetições formais.

Exemplificamos com uma resposta e justificamos a classificação:

Ele trata sobre um artigo que fala sobre mecânica quântica. No texto, EPR defendem que apenas é um elemento real aquele que pode ter sua quantidade física prevista e com isso, tentaram provar que a mecânica quântica ainda era uma teoria incompleta. Miriam

Miriam formulou a resposta aparentemente recortando trechos do texto e modificando algumas palavras. Nos dois primeiros parágrafos do texto podemos ler que:

[...] O trabalho [de EPR] pretendia demonstrar que a mecânica quântica era uma teoria incompleta [...]. Segundo eles [EPR], um elemento de realidade é qualquer quantidade física cujo valor pode ser previsto antes que uma medida seja feita [...] (OLIVEIRA; VIEIRA, 2009, p. 66-67).

Identificamos poucas respostas com repetições empíricas (cópias literais do texto) – apenas 2% –, o que consideramos um fato positivo, pois podemos dizer que a efetividade da produção de sentidos é menor em repetições empíricas, um pouco maior em repetições formais e tem seu ápice em repetições históricas.

Apresentamos a seguir uma resposta classificada como repetição empírica e justificamos a classificação:

Contaria que um elemento de realidade é qualquer quantidade física cujo valor pode ser previsto antes que uma medida seja feita. Ondina

A autora dessa resposta apenas copiou o seguinte trecho do texto:

[...] um elemento de realidade é qualquer quantidade física cujo valor pode ser previsto antes que uma medida seja feita. [...] (OLIVEIRA; VIEIRA, 2009, p. 66-67).

Vale frisar, contudo, que mesmo a utilização de repetições empíricas pode pressupor certa seleção. Ou seja, é comum que sejam copiados trechos que não foram aleatoriamente escolhidos.

A utilização de repetições empíricas e formais indica que a condição de produção preponderante para as respostas foi a leitura do texto, isto é, uma condição de produção imediata. A partir disso é possível supor que de fato se tratou de um assunto novo para a maioria dos ingressantes, uma vez que em boa parte das respostas não encontramos indícios de sentidos produzidos tendo como condicionantes aspectos sócio-históricos, aspectos que extrapolam as condições de produção imediatas das informações.

Em contrapartida, identificamos nas respostas de 11% dos ingressantes a utilização de repetições históricas. Em suas respostas fica evidenciado o trabalho com a história de outras interpretações. Exemplos:

Que existe uma grande diferença em relação a realidade da física clássica e quântica, entre elas a falta do realismo na segunda. Isso levou diversos físicos a duvidarem dessa última com completa. Marley

Um artigo que trata sobre a existência de 'elementos de realidade' que são quantidades que podem ser previstas sem medição. Ex: O estado (vivo ou morto) do gato no experimento mental de Schrödinger. Valquiria

Apesar da Física Quântica apresentar ótimos resultados em alguns aspectos, ela ainda não pode ser dada como perfeita... ou fechada. Isadora

Como o texto não faz diretamente comparações entre a física clássica e a física quântica, Marley produziu uma repetição histórica, compondo sua resposta considerando elementos de sua memória, como, por exemplo, a lembrança de outras leituras feitas anteriormente, ou até mesmo aspectos de discursos em circulação em nossa sociedade.

A resposta de Valquiria exemplifica a existência de “elementos de realidade” com o experimento do gato de Schrödinger, apesar de nenhuma referência a ele ser feita no texto. Vale esclarecer que o referido experimento mental foi proposto por Schrödinger em 1935 com o intuito de combater a interpretação de Copenhagen (assim como o experimento mental de EPR).

Valquiria pode ter lido sobre o assunto em revistas de divulgação científica, na *internet*, ou até mesmo em trechos de matérias de jornais como os exemplificados a seguir:

Aliás, é bom lembrar que certas áreas das ciências exatas já aceitaram a ambiguidade inevitável. É com elas que a Geração Zero interage. Nossa antologia relaciona-se, por exemplo, com o princípio da incerteza de Heisenberg e o gato morto-vivo de Schrodinger. Com a nanomedicina e as próteses neurológicas. Com a bizarra matéria escura que compõe noventa por cento do universo, mas ninguém sabe o que é (Zona de confronto versus zona de conforto da crítica. Nelson de Oliveira, Folha de São Paulo, versão impressa, Seção “Ilustrada”, 01/01/2011).

*Um "qubit" pode ser zero e um ao mesmo tempo: dois estados sobrepostos. Em 1935, Schrödinger questionou se um gato -grosso modo, um grupo de átomos- poderia estar morto e vivo ao mesmo tempo (Máquina poderá quebrar códigos e pro-
jetar remédio. Igor Zolnerkevic, Folha de São Paulo, versão impressa, Seção "Ci-
ência", 10/08/2008).*

Já Isadora, embora tenha formulado sua resposta de maneira bastante geral, além de enfatizar que todas as teorias são inconclusas, também se refere implicitamente ao sucesso obtido pela Física Quântica (FQ) em muitos dos casos em que ela é utilizada – outra informação que, segundo nossa leitura, não é mencionada no texto. Nesse sentido, se não se tratasse apenas de uma sondagem, mas sim de uma leitura em sala de aula, sua resposta poderia ser discutida pedindo inicialmente para que ela explicitasse quais os “ótimos resultados” a que havia se referido. Em seguida, eventualmente poderíamos apontar o fato de que o conhecimento da FQ ajudou no desenvolvimento de muitos objetos tecnológicos, como é possível ler em trechos de textos de divulgação científica e de matérias de jornais como os apresentados a seguir, respectivamente:

O leitor certamente se surpreenderia se disséssemos que sem a mecânica quântica não conheceríamos inúmeros objetos com os quais lidamos corriqueiramente hoje em dia. Só para se ter uma ideia podemos mencionar o nosso aparelho de CD, o controle remoto de nossas TVs, os aparelhos de ressonância magnética em hospitais ou até mesmo o microcomputador que ora usamos na elaboração deste artigo. Todos os dispositivos eletrônicos usados nos equipamentos da chamada high-tech só puderam ser projetados porque conhecemos a mecânica quântica. A título de informação, 30% do PIB americano é devido a estas tecnologias (CALDEIRA, 2001).

"Quanto mais o pensamento fica afastado do dia-a-dia, mais a prática política também tende a se afastar da prática social; na realidade, a distância entre teoria e prática não existe", comenta Marcão. "Computadores, CDs, DVDs, nada disso existiria sem as descobertas da física quântica", lembra Palma. "Considero essa peça muito importante, porque ela aposta no conhecimento, leva a refletir sobre a conexão entre ciência e política e sobre a interferência individual nas grandes decisões" (Para ator, público gosta de ser desafiado, O Estado de São Paulo, online, Caderno 2, "Variedades", 29/01/2001).

Assim, respostas como as de Marley, Valquiria e Isadora estabelecem um diálogo entre o imediato – a leitura do texto –, os discursos em circulação e a memória discursiva – os sentidos anteriormente produzidos, a história de leituras (ressaltando que a palavra “leituras” não se refere aqui apenas à atividade de ler, mas também a atividades como assistir a um filme, a um documentário, a uma aula etc.). Em outras palavras: o aporte teórico da AD nos permite apontar/vislumbrar quais estão sendo os elementos condicionantes das respostas, sejam eles relacionados a condições de produção imediatas (como o texto lido pelos estudantes)

ou a condições de produção sócio-históricas (como os discursos que circulam em nossa sociedade).

A segunda pergunta do questionário foi: “*Que dificuldades você teve na leitura do texto?*”.

Na tabela 2 apresentamos os dados que indicam quantos ingressantes tiveram dificuldades na leitura:

Tabela 2: Indicação pelos ingressantes de dificuldades na leitura do texto.

Respostas	Sim	Não	Não respondeu
Número de ingressantes e porcentagem	29 (64,4%)	12 (26,7%)	4 (8,9%)

A maioria dos ingressantes afirmou ter tido dificuldades na leitura do texto. De fato, como se tratou apenas de uma breve leitura a respeito de um assunto que provavelmente era novo para a maioria dos estudantes que colaboraram com a pesquisa, encontrar dificuldades nos parece natural. Apresentamos a seguir três respostas:

Muita, pelo fato de não conhecer sobre física quântica. Nilza

Achei a leitura confusa. Denner

Nenhuma dificuldade, pois é um assunto que me interessa e tenho curiosidade. Vanessa

Em síntese, os fatos de que 22% dos ingressantes não evidenciaram ter produzido os sentidos que consideramos centrais no texto e de que 64% deles também relataram ter tido dificuldades na leitura, podem estar associados à fragmentação do texto, bastante sucinto, à falta de hábito de leituras referentes a assuntos relacionados à física, à dificuldade do assunto e, sem dúvida, às condições de produção imediatas da leitura, em especial no que se refere ao fato da sondagem ter sido realizada no momento da matrícula dos ingressantes na universidade. Eles certamente estavam felizes, empolgados. Não era uma tarefa fácil manter a concentração e, além disso, alguns podiam estar com pressa, mesmo tendo aceitado nosso pedido para participar da pesquisa. Isso possivelmente também ajuda a explicar porque alguns dos participantes não produziram sentidos sobre o assunto. Duas respostas à segunda questão corroboram essa consideração:

Dificuldade em ler às 9:12. Dalton

Estava muito cansado quando li. Joaquim

Embora as condições de produção imediatas da sondagem realizada com os ingressantes sejam muito diferentes das condições de produção encontradas numa sala de aula, ao

considerarmos que uma das reclamações mais frequentes dos professores do ensino básico é a falta de concentração de seus alunos (STEFANINI e CRUZ, 2006), podemos dizer que essas condições de produção guardam entre si alguma similaridade.

IV. Considerações finais

A inserção de tópicos de FQ no EM é necessária, mas não com o objetivo de tornar os alunos peritos no assunto, até porque para isso, seria necessário que dominassem o complexo formalismo matemático em que esses conhecimentos são produzidos. Esta inclusão objetiva possibilitar-lhes o contato com uma teoria importante e atual, a fim de que possam incrementar suas histórias de leituras, sua cultura, pois “Física Quântica também é cultura.” (PINTO; ZANETIC, 1999, p. 21).

As análises aqui apresentadas indicam que, apesar da peculiar condição de produção imediata dos discursos, a maioria dos ingressantes na universidade que participaram da pesquisa produziu minimamente sentidos sobre o paradoxo EPR a partir da breve leitura de divulgação científica realizada.

Assim, ainda que a escolha dos colaboradores para a pesquisa não nos permita tecer maiores considerações – o que também não era a proposta, dado o cunho exploratório do trabalho –, a sondagem realizada parece ter proporcionado a esses sujeitos pequenos incrementos/construções em suas histórias de leitura sobre o assunto, o que dá indícios da possibilidade de se trabalhar o paradoxo EPR no EM, lembrando que certamente a maioria dos ingressantes cursou o EM há pouco tempo. Além disso, embora 64,4% deles tenham relatado dificuldades na leitura, o que nos parece normal tendo em vista as condições de produção imediatas e a provável novidade do assunto, há que se considerar que em sala de aula existiria a possibilidade de se realizar um trabalho mais longo e com a mediação por parte do professor.

Por outro lado, parece ser importante lembrar ainda que o paradoxo EPR não é comumente trabalhado nos cursos de graduação que formam professores de física. Os tradicionais livros-texto utilizados nesses cursos, “Fundamentos de Física” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009) e “Física Quântica” (EISBERG; RESNICK, 1979), não abordam esse tópico. Nesse sentido, além de se pensar a discussão do paradoxo EPR no EM, parece ser relevante também pensar sua introdução nos cursos de licenciatura em física.

Quanto ao fato da sondagem ter sido realizado junto a estudantes que cursariam os cursos de física ou matemática, acreditamos que essa condição de produção não tenha tido considerável influência no que diz respeito ao interesse dos sujeitos em participar da atividade (ler o texto e responder às questões), pois a física que frequentemente é trabalhada no EM costuma não ter em conta a leitura na chamada “linguagem comum”, pautando-se quase que exclusivamente no formalismo matemático – o qual possivelmente era um dos alvos de interesse da maioria desses sujeitos, sendo, conseqüentemente, um dos motivos pela escolha do curso.

Embora pareça se tratar de um assunto complexo, trabalhar aspectos do paradoxo EPR no EM pode contribuir para que os estudantes: a) entrem em contato com um tópico de FQ; b) notem um aspecto da evolução histórica das ideias científicas; c) compreendam que na física são criados modelos que procuram explicar a natureza; d) notem que os modelos científicos são desenvolvidos a partir de pressupostos filosóficos nem sempre explícitos; e) desmitifiquem a visão de que a ciência estabelece verdades absolutas e de que nela não há conflitos; f) entrem em contato com conceitos científicos importantes e atuais como o de emaranhamento e g) atentem para a importância das controvérsias, descaracterizando a muitas vezes divulgada genialidade infalível dos cientistas.

Além disso, o paradoxo EPR e a possibilidade do emaranhamento quântico podem propiciar uma abordagem que evidencie a existência de inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, uma vez que se trata de tópicos que possibilitaram avanços teóricos, que estão relacionados a possíveis desenvolvimentos tecnológicos e que compõem discursos em circulação na atual conjuntura sócio-histórica.

Referências

AKRILL, T. **Physics Education**, v. 26, p. 81-87, 1991.

ALMEIDA, M. J. P. M. **Discursos da ciência e da escola: ideologia e leituras possíveis**. Campinas, SP: Mercado de Letras, 2004.

ALMEIDA, M. J. P. M. O texto de divulgação científica como recurso didático na mediação do discurso escolar relativo à ciência. In: PINTO, G. A. (Org.). **Divulgação científica e práticas educativas**. Curitiba, PR: CRV, 2010. p. 11-24.

ALMEIDA, M. J. P. M.; MOZENA, E. R. Luz e outras formas de radiação eletromagnética: leituras na 8ª Série do Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 426-433, 2000. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_426.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2014.

BISPO, W. F. O.; DAVID, D. G. F. Sobre a cultura material dos primeiros testes experimentais do teorema de Bell: uma análise das técnicas e dos instrumentos (1972-1976). In: FREIRE JR., O.; PESSOA JR. O.; BROMBERG, J. L. (Orgs.). **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

CALDEIRA, A. Física Moderna: Mito e Ciência. A Física Quântica: o que é, e para que serve. **Com Ciência: Revista Eletrônica de Jornalismo Científico**, n. 20, 2001.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 298-

316, 2001. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6666>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

CUNHA, M. O. T. Emaranhamento: dos Gatos de Schrödinger à Álgebra Multilinear. In: BIENAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MATEMÁTICA, II, 2004, Salvador. Minicurso. Disponível em: <<http://www.bienasbm.ufba.br/M27.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

DIONÍSIO, P. H. Albert Einstein e a física quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 2, p. 147-164, 2005. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6382/13263>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

EISBERG, R. M.; RESNICK, R. **Física quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FREIRE JUNIOR, O.; GRECA, I. M. Informação e teoria quântica. **Scientiae Studia**, v. 11, n. 1, p. 11-33, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ss/v11n1/02.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

FREIRE JR. O. Sobre as desigualdades de Bell. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 8, n. 3, p. 212-226, 1991. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9239/14102>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

GAMA, L. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Condições de produção numa leitura de divulgação científica. **Revista Espiral**, ano 7, n. 26, 2006.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 1, p. 29-56, 2001. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID179/v6_n1_a2001.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2014.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. 8. ed. 4 volumes. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009.

KUTTNER, F.; ROSENBLUM, B. Bell's Theorem and Einstein's 'Spooky Actions' from a Simple Thought Experiment. **The Physics Teacher**, v. 48, n. 2, p. 124-130, 2010. Disponível em: <<http://scitation.aip.org/content/aapt/journal/tpt/48/2/10.1119/1.3293664>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

LEHNER, C. O realismo de Einstein e sua crítica da Mecânica Quântica. In: FREIRE JR., O.; PESSOA JR. O.; BROMBERG, J. L. (Orgs.). **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MARTINS, I.; NASCIMENTO, T. G.; ABREU, T. B. Clonagem na sala de aula: um exemplo do uso didático de um texto de divulgação científica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 1, p. 95-111, 2004. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID111/v9_n1_a2004.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2014.

NIGRO, R. G. Una evaluación preliminar de la lectura de textos de ciencias de diferentes géneros. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 2, p. 376-395, 2010. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen9/ART5_Vol9_N2.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2014.

NIGRO, R. G.; TRIVELATO, S. L. F. Leitura de textos de ciências de diferentes gêneros: um olhar cognitivo-processual. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 3, p. 553-573, 2010. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID249/v15_n3_a2010.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2014.

OLIVEIRA, I. S.; VIEIRA, C. L. **A revolução dos q-bits: o admirável mundo da computação quântica**. Rio de Janeiro: J. Zahar, 2009.

ORLANDI, E. P. **A linguagem e seu funcionamento: as formas do discurso**. 2. ed. rev. e aum. São Paulo: Pontes, 1987. 276 p.

ORLANDI, E. P. **Análise de discurso: princípios & procedimentos**. 6. ed. Campinas: Pontes, 2005. 100 p.

ORLANDI, E. P. **Discurso e leitura**. 5. ed. São Paulo: Cortez; Campinas: Editora da UNICAMP, 2000. 118 p.

ORLANDI, E. P. Paráfrase e Polissemia: a fluidez nos limites do simbólico. **Rua**, v. 4, p. 9-19, 1998.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Tópicos de Física Contemporânea na escola média brasileira: um estudo com a técnica Delphi. In: VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 1998, Florianópolis. **Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Física, 1998. (CD-ROM).

PAULO, I. J. C.; MOREIRA, M. A. O problema da linguagem e o ensino da mecânica quântica no nível médio. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 2, p. 421-434, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v17n2/a11v17n2.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2014.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6873/6333>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

POSPIECH, G. Teaching the EPR paradox at high school? **Physics Education**, v. 34, n. 5, p. 311-316, 1999. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/0031-9120/34/5/307>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. A leitura por alunos do Ensino Médio de um texto considerado de alto grau de dificuldade. **Alexandria**, v. 7, p. 49-73, 2014. Disponível em: <<http://alexandria.ppgect.ufsc.br/files/2014/06/Andre.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 624-652, 2011. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n3p624/20255>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

SILVA, H. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 3, 2005. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen4/ART8_Vol4_N3.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2014.

SILVA, J. A.; KAWAMURA, M. R. D. A natureza da luz: uma atividade com textos de divulgação científica em sala de aula. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 316-339, 2001. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6667/14045>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

SOUZA, A. M. **um estudo de emaranhamento e Desigualdades de Bell em sistemas térmicos magnéticos**. 2008. Tese (Doutorado em Física) - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Ministério da Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.cbpf.br/~qbitrnmn/teses/tese_alexandre.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2014.

STEFANINI, M. C. B.; CRUZ, S. A. B. Dificuldades de aprendizagem e suas causas: o olhar do professor de 1ª a 4ª séries do Ensino Fundamental. **Revista Educação**, PUC-RS, v. 29, n. 1, p. 85-105, 2006. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/faced/article/view/436/332>>. Acesso em: 09 jan. 2014.

SUN, L. T.; LAU, K. S. Sixth-form physics in Hong Kong. **Physics Education**, v. 31, n. 3, p. 163-168, 1996. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/0031-9120/31/3/017/pdf/0031-9120_31_3_017.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2014.

ZANOTELLO, M.; ALMEIDA, M. J. P. M. Produção de sentidos e possibilidades de mediação na física do ensino médio: leitura de um livro sobre Isaac Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 437-446, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n3/a15v29n3.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2014.