

SEÇÃO: ARTIGOS

CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DOS CONCEITOS DE EMARANHAMENTO QUÂNTICO E NÃO-LOCALIDADE: UM ESTUDO PILOTO

Rafaelle da Silva Souza¹

Indianara Lima Silva²

Elder Sales Teixeira³

RESUMO

O artigo traz reflexões sobre a utilização da História e Filosofia da Ciência para auxiliar a aprendizagem da Mecânica Quântica, com foco nos conceitos de emaranhamento quântico e não-localidade, para alunos de licenciatura em Física. Uma proposta didática foi elaborada a partir da perspectiva da Engenharia Didática de Artigue que estabelece algumas fases de elaboração de um conteúdo a ser ministrado. Propõe-se uma contextualização histórica como forma de facilitar o ensino da Mecânica Quântica com aulas mediadas pela professora-pesquisadora e uso de textos originais de cientistas através dos quais buscou-se estabelecer momentos dialógicos e de análise textual. As atividades realizadas pelos estudantes tornaram-se instrumentos de análise e são observados via Taxonomia de Bloom Revisada. Como resultado da implementação, a contextualização histórica é percebida como passo importante para o ensino da Mecânica Quântica. Os estudantes, embora tenham apresentado lacunas na compreensão conceitual, mostram-se interessados na História e Filosofia da Ciência, uma vez que ela possibilita ricas trocas histórico-conceituais fundamentais para que se prossiga com aprendizagem.

Palavras-chave: Mecânica Quântica. História e Filosofia da Ciência. Licenciatura em Física.

Como citar este documento – ABNT

SOUZA, Rafaelle da Silva; SILVA, Indianara Lima; TEIXEIRA, Elder Sales. Contextualização histórica dos conceitos de emaranhamento quântico e não-localidade: um estudo piloto. *Revista Docência do Ensino Superior*, Belo Horizonte, v. 10, e015992, p. 1-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.35699/2237-5864.2020.15992>.

Recebido em: 26/12/2019
Aprovado em: 11/03/2020
Publicado em: 13/07/2020

¹ Instituto Federal da Bahia (IFBA), Seabra, BA, Brasil. Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brasil. Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana, BA, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6713-2292>. E-mail: rafaellessouza@gmail.com.

² Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana, BA, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2124-6435>. E-mail: indianara.slima@gmail.com.

³ Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana, BA, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6013-2043>. E-mail: eldersate@gmail.com.

CONTEXTUALIZACIÓN HISTÓRICA DE CONCEPTOS ENMARAÑAMIENTO CUÁNTICO Y NO-LOCALIDAD: ESTUDIO PILOTO

RESUMEN

El artículo trae reflexiones sobre el uso de Historia y Filosofía de la Ciencia para ayudar al aprendizaje de la Mecánica Cuántica, centrándose en los conceptos de emaranhamiento cuántico y no-localidad, para estudiantes universitarios de Física. Se elaboró una propuesta didáctica desde la perspectiva de la Ingeniería Didáctica de Artigue que establece algunas etapas de elaboración de un contenido a ser enseñado. Se propone una contextualización histórica como una forma de facilitar la enseñanza de Mecánica Cuántica con clases mediadas por el profesor-investigador y el uso de textos originales por científicos a través de los cuales buscamos establecer momentos de dialógico y análisis textual. Las actividades realizadas por los estudiantes se convirtieron en instrumentos de análisis y se observan a través de la Taxonomía de Bloom revisada. La contextualización histórica se percibe como un paso importante para enseñar Mecánica Cuántica. Los estudiantes, a pesar de tener lagunas en la comprensión conceptual están interesados en Historia y Filosofía de la Ciencia, ya que permite ricos intercambios histórico-conceptuales que son esenciales para continuar con el aprendizaje.

Palabras clave: Mecánica Cuántica. Historia y Filosofía de la Ciencia. Curso de Física.

HISTORICAL CONTEXTUALIZATION OF QUANTUM ENTANGLEMENT AND NON-LOCALITY: A PILOT STUDY

ABSTRACT

This article brings reflections about the use of History and Philosophy of Science to assist the learning of Quantum Mechanics, focusing on the concepts of quantum entanglement and non-locality, for Physics undergraduate students. A didactic proposal was elaborated from Artigue's Didactic Engineering perspective, which establishes some stages for a content to be developed and taught. A historical contextualization is proposed as a way to facilitate the teaching of Quantum Mechanics, with classes mediated by the teacher-researcher and use of original texts by scientists, this way aiming to establish dialogues and textual analysis. The students performed activities have become instruments of study and are examined via revised Bloom's Taxonomy. As a result of the use of History and Philosophy of Science, historical contextualization is noticed as an important step for teaching of Quantum Mechanics. Students, although having gaps in conceptual understanding, were interested in the History and Philosophy of Science once it enabled rich discussions on the historical-conceptual domain to proceed with the learning.

Keywords: Quantum Mechanics. History and Philosophy of Science. Undergraduate Degree in Physics.

INTRODUÇÃO

O conhecimento científico da Mecânica Quântica (MQ) é, em geral, apresentado aos estudantes desarticulado do contexto histórico, e, em consequência, constituem-se barreiras para a compreensão histórico-conceitual (KOHLE *et al.*, 2014; GRECA; FREIRE, 2014; CUESTA-BELTRÁN, 2018).

Inserido nesse cenário, elaboramos uma proposta didática apresentada em Souza, Lima e Teixeira (2018), que envolve, em especial, o fenômeno do emaranhamento quântico e não-localidade com a perspectiva de descentralizar o ensino do que é conhecido como a velha MQ. Ao propor esse estudo, com um viés histórico, contempla-se a evolução conceitual e metodológica da Física em seu processo de construção. Agora, o presente estudo tem por objetivo investigar quais são as contribuições da utilização didática da História e Filosofia da Ciência (HFC) no processo de compreensão histórico-conceitual no estudo da MQ por meio da implementação da referida proposta didática.

A implementação foi realizada na Universidade Estadual de Feira de Santana, de três de setembro a dez de outubro de 2018, em uma turma de sete estudantes do curso de licenciatura em Física do sétimo período na disciplina de Metodologia no Ensino de Física. A disciplina foi escolhida por possibilitar a articulação teoria-prática, ao conciliar o ensino da MQ com discussões histórico-conceituais e noções de sua importância para a futura prática docente. Ressaltamos que, de acordo com a matriz curricular, os estudantes cursaram Física Geral IV e Física Moderna, que prevê em ementa o estudo de conceitos iniciais da Física Quântica e seus desenvolvimentos no século XX – aspectos teoricamente facilitadores para a compreensão da MQ, como aqui proposto.

O contexto histórico envolve as reflexões teóricas propostas por Einstein, Podolsky e Rosen (1935) e Schrödinger (1935), bem como seu reconhecimento como campo de investigação consolidado na Física (BELL, 1964; ASPECT; DALIBARD; ROGER, 1982). Este se insere em uma cadeia complexa e repleta de sutilezas produzindo intensos debates até os dias atuais (FREIRE JR., 2006). Tais aspectos possibilitam a compreensão do desenvolvimento da teoria e de suas aplicações tecnológicas, mas, sobretudo, de uma ciência em construção.

Por conseguinte, o uso didático da HFC configura uma abordagem que pode trazer contribuições ao processo de ensino-aprendizagem, gerando entendimento do impacto científico, tecnológico e filosófico que a MQ trouxe para a cultura do século XX e XXI, bem como sua incompatibilidade com outras leis consolidadas na Física (KRAGH, 1992). Têm-se as possibilidades de: formar uma cultura científica capaz de desenvolver nos estudantes uma postura crítica; funcionar como uma abordagem estruturadora na apresentação de um tema complexo; oferecer um caminho facilitador na compreensão de conceitos, leis, modelos e teorias científicas; e auxiliar na construção de uma visão da ciência sem distorcer a história

na qual se envolve o empreendimento científico como uma conquista de conhecimentos por aproximações sucessivas através de retificações e múltiplas rupturas (MATTHEWS, 1995; MARTINS, 2006; DELIZOICOV, SLONGO; HOFFMANN, 2011).

Em sala de aula não se apresenta apenas a história dos vencedores, datas, cientistas e acontecimentos, mas abordam-se as controvérsias, as idas e vindas e as trajetórias do desenvolvimento científico. Esses aspectos permitem que os estudantes compreendam as dificuldades, os obstáculos e os contextos culturais, filosóficos, tecnológicos etc. e podem interpretar a ciência como uma atividade humana realizada por homens e mulheres que apontam problemas e respostas em cada época (KRAGH, 1989; PÉREZ *et al.*, 2001; SILVA, C., 2006; ALLCHIN, 2013).

Para viabilizar essas questões, consideramos que a leitura e discussão de textos originais de cientistas seria o meio de promover o contato com importantes fontes bibliográficas e de “oferecer subsídios à aprendizagem de teorias científicas, além de possibilitar discussões relevantes sobre a natureza” (SILVA, B., 2012, p. 2). Autores como Moreira e Ostermann (1993), Pérez *et al.* (2001), Holton (2003), Montenegro (2005), Praia *et al.* (2007) e Forato (2008) tecem argumentos de que os textos originais de cientistas podem auxiliar os estudantes a construir compreensão de ciência como um processo inacabado, repleto de construções históricas influenciadas pelo contexto sociocultural de cada época, além de suprirem limitações apresentadas nos tradicionais livros didáticos.

Nesses moldes, o estudo piloto serve para levantar questionamentos importantes pertinentes a elaboração e implementação de propostas didáticas no ensino da MQ. Os elementos aqui elencados vêm ao encontro da necessidade de se investir em uma melhor formação do professor, mais sólida e atual (OSTERMANN; PRADO, 2005).

REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

A presente investigação é qualitativa-empírica cuja preocupação com o processo é muito maior do que com o produto, e os dados coletados são predominantemente descritivos (LÜDKE; ANDRÉ, 1986). Apresenta-se a implementação de uma proposta didática estruturada nas quatro fases da Engenharia Didática de Artigue (1994): 1) Delimitação do marco teórico e conteúdo; 2) Concepção e análise *a priori* de situações didáticas; 3) Experimentação; 4) Análise *a posteriori* e validação, situando o professor-pesquisador responsável pelo planejamento, implementação e avaliação.

Primeira fase

O embasamento teórico da proposta envolve a dimensão epistemológica e histórica por meio da HFC, além da legislação vigente para formação docente (BRASIL, 2001, 2015)

traduzindo-os em situações didáticas fundamentadas na teoria sociointeracionista de Vygotsky (1989).

Vygotsky em sua teoria sociointeracionista tem como unidade de análise a interação social que instiga o processo de ensino-aprendizagem. Dessa concepção, para explicar o processo de absorção/construção do conhecimento, Vygotsky formula o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) definido como distância entre o nível de desenvolvimento real (aquilo que o indivíduo consegue elaborar sozinho) e o nível de desenvolvimento potencial (o que o indivíduo consegue elaborar com ajuda de alguém). Assim a aprendizagem é consequência do desenvolvimento construído, um processo que se expressa primeiro externamente para depois ser internalizado (VYGOTSKY, 2007).

Em decorrência disso, pensou-se em apresentar a MQ por meio de um contexto histórico de evolução conceitual e de desenvolvimento, buscando elementos de análise para enriquecer a visão da ciência dos estudantes, não a resumindo em simples formulações matemáticas. Assim sendo, o problema proposto deve encontrar-se na ZDP, região entre o nível de desenvolvimento real do indivíduo, avaliada a partir da sua capacidade de solução autônoma de tarefas e o seu grau de desenvolvimento potencial, tendo ajuda do docente ou de colegas mais capazes (VYGOTSKY, 1989). É esperado que o ensino da MQ a partir da HFC com foco em uma narrativa do processo de construção científica permita um grau maior de abstração através da discussão e interação (HEERING; HÖTTECKE, 2014).

Em concordância com esses aspectos, o conteúdo da MQ selecionado envolve desenvolvimentos da teoria a partir de 1935 com o argumento de Einstein, Podolsky e Rosen (EPR) sobre a possível incompletude da teoria (EINSTEIN; PODOLSKY; ROSEN, 1935). As críticas desses autores provocaram discussões conceituais sobre a natureza dos estados ditos emaranhados e depois motivou investimentos em atividades experimentais, destacando o conceito de não-localidade. Entre as relevâncias dessa temática, por exemplo, está que o emaranhamento entre sistemas quânticos – fenômeno derivado dos estudos em questão – tem prometido aplicações como a criptografia quântica e computadores quânticos.

Um famoso paradoxo surge no mesmo ano (SCHRÖDINGER, 1935): o gato de Schrödinger, em que o acoplamento de um sistema quântico a um clássico (um gato) conduziria este último à superposição dos estados de vivo/morto (simultaneamente); resultado absurdo, considerando a Mecânica Clássica.

Cerca de três décadas depois – vários trabalhos foram desenvolvidos ao longo desse tempo, mas por fins didáticos optamos por tal recorte histórico – Bell (1964) propõe um teorema que destaca a não-localidade e estabelece as chamadas desigualdades de Bell. Um critério simples para testar qualquer teoria local de fenômenos naturais é então formulado sob o

marco do realismo e evidenciam que a MQ não é uma delas. Os resultados favoráveis à MQ são confirmados experimentalmente por Aspect, Dalibard e Roger (1982). O emaranhamento é então estabelecido como propriedade efetiva do mundo quântico.

A discussão do argumento de EPR é marcada por descrições, proposições teóricas e realizações experimentais que fornecem indícios dos caminhos trilhados para a construção dos conceitos em questão. Essa discussão em sala de aula foi conduzida por meio de quatro textos originais de cientistas⁴ – escolha que pode motivar os estudantes a irem direto à fonte, a saber: Einstein, Podolsky e Rosen (1935); Schrödinger (1935); Bell (1964) e Aspect, Dalibard e Roger (1982). Essa adoção pode constituir-se boa estratégia de ensino, pois, conforme afirmam Lima e Ricardo (2019), ao ler, o estudante abstrai, cria e imagina os eventos descritos na sua leitura e, quando essa leitura apresenta conceitos específicos de Física, através de sua interpretação, são criados pseudoconceitos, os quais, tratados didaticamente, podem se converter nos conceitos físicos pretendidos.

Desse modo, é proposto um desafio cognitivo, interpretação de textos para compreender conceitos físicos, não tão difícil, a ponto de os estudantes não conseguirem solucioná-lo sozinhos, mas que seja solúvel com o auxílio de seus colegas e do docente, ou seja, que esteja adequada à estrutura de ZDP da maioria dos discentes.

Segunda fase

Definido o contexto histórico, são estabelecidos objetivos de ensino-aprendizagem, organizando um espaço profícuo para o desenvolvimento do estudante no âmbito dos aspectos Conceituais, Procedimentais e Atitudinais (CPA), os quais estão imbricados na constituição dos seus sistemas cognitivos. Ao envolver conceitos (conhecimento de fatos, acontecimentos, dados e fenômenos), procedimentos (ações ordenadas com um fim) e atitudes (valores e normas) incluem também outros aspectos, como o trabalho em grupo, o respeito, a ética, a diversidade etc., que podem refletir positivamente no aprendizado. Trata-se de dimensões sistematizadas que podem ajudar na aprendizagem cognitiva, comportamental e social do conteúdo (COLL *et al.*, 1992).

O plano da proposta didática é construído por descrições dos objetivos de ensino-aprendizagem e atividades propostas⁵. Ao fim das atividades, incluímos uma proposta de elaboração de um plano de aula, algo que diverge das práticas de ensino da MQ, mas que ao nosso ver aproxima a associação da teoria-prática por se tratar de um curso para formação

⁴ Cabe salientar que chamamos de “texto original de cientistas” as traduções para a língua portuguesa a fim de tornar acessíveis e facilitar a leitura para os estudantes.

⁵ Um detalhamento da versão piloto da proposta didática, bem com a sequência de atividades propostas na íntegra está disponível em: <https://drive.google.com/open?id=1P1ME79YTxI4HhKUuJGZJRFxd8X6aaRCP>. Acesso em: 19 mar. 2020.

de professores⁶. Foi totalizado um conjunto de oito encontros com duração de 1h30. A coleta de dados foi por meio das produções escritas dos estudantes (resultantes do conjunto de atividades propostas), gravações de áudio/vídeo e anotações de observação direta participante.

Terceira fase⁷

O início da implementação da proposta é marcado pela apresentação e levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes por meio de atividade escrita (AT1). Na sequência, enfatiza-se os limites entre sistemas clássicos e quânticos e solicita-se a leitura dos textos de Einstein, Podolsky e Rosen (1935) e de Schrödinger (1935) com execução da AT2. A discussão do argumento de EPR foi retomada utilizando uma analogia (AT3) que remete à questão de (in)completude da MQ. É então discutido o processo de detecção do emaranhamento e sua relação com o conceito da não-localidade. Para as aulas seguintes, é solicitada a realização de uma simulação sobre o emaranhamento quântico (AT4) e leitura do texto de Bell (1964) (AT5).

Em continuidade, apresentamos o argumento da teoria de variáveis ocultas e utilizamos outra analogia para exemplificá-la (AT6). Ao término, propõe-se a leitura do texto de Aspect, Dalibard e Roger (1982) que aborda a discussão sobre o emaranhamento com foco nas desigualdades de Bell (AT7). Por fim, discutimos aplicações da MQ como criptografia e teletransporte quântico direcionando para reflexão sobre o respectivo impacto científico e tecnológico na sociedade. Ainda, são discutidas possibilidades de ensino para o nível médio com proposta de elaboração de um plano de aula com ênfase na presença dos fenômenos quânticos na cultura do século XX e XXI (AT8). Como fechamento, é proposto um momento de socialização de opiniões sobre *como* ensinar tópicos de MQ na educação básica.

Quarta fase

Os instrumentos de análise de dados e atividades escritas dos estudantes foram avaliados a partir da Taxonomia de Bloom Revisada (TBR) (ANDERSON; KRATHWOHL; BLOOM, 2001; FERRAZ; BELHOT, 2010). A TBR foi vista como ferramenta para medir a aprendizagem

⁶ No campo das didáticas um desafio que surge é: “como ajudar a outros a ensinar” (FELDMAN, 2001, p. 43). “Uma didática pode conter uma teoria de instrução, mas uma teoria de instrução dificilmente abarcará, por si mesma, todas as necessidades educacionais que requerem respostas didáticas”. Assumindo esse desafio, prevemos na proposta um momento didático com desfecho na discussão sobre transposição didática para o ensino médio. Não será aprofundado, mas tem o objetivo de chamar atenção para a necessidade de refletir em *como ensinar* conceitos de MQ na educação básica.

⁷ Por questões de espaço os conteúdos das aulas e como foram ministradas serão apresentadas rapidamente, porém são melhores discutidos no link de acesso disponibilizado anteriormente. Para aprofundamento sugerimos que o acesse.

através de sua estrutura bidimensional, sendo a dimensão conhecimento (coluna vertical – Quadro 1) e o processo cognitivo (coluna horizontal – Quadro 2).

EFETIVO/FACTUAL – conhecimento da terminologia e de detalhes específicos. Relacionado aos elementos básicos que os educandos devem saber para se familiarizar com a disciplina e solucionar problemas a partir deles.
CONCEITUAL – relacionado às interrelações de elementos básicos de uma estrutura maior que os permite funcionar juntos. Elementos mais simples foram abordados e devem ser conectados. Nessa dimensão, não é a aplicação de um modelo que é importante, mas a consciência de sua existência.
PROCEDIMENTAL/PROCEDURAL – relacionado ao conhecimento de conteúdos específicos, de habilidades e de algoritmos; de técnicas específicas e de métodos. O conhecimento abstrato começa a ser estimulado dentro de um contexto único.
METACOGNITIVO – relacionado ao reconhecimento da cognição em geral e da consciência da amplitude e profundidade de conhecimento adquirido de um determinado conteúdo. Essa dimensão está relacionada à interdisciplinaridade. A ideia principal é utilizar conhecimentos previamente assimilados (interdisciplinares) para resolução de problemas e/ou escolha do melhor método, teoria ou estrutura.

Quadro 1: Níveis e objetivos da dimensão do conhecimento da TBR.

Fonte: elaborado pelos autores.

LEMBRAR	ENTENDER	APLICAR	ANALISAR	AVALIAR	CRIAR
Relacionado a lembrar-se do que aprendeu e trazê-las à tona no momento oportuno.	Consiste em dar sentido ao conteúdo de forma que seja possível seu entendimento e reprodução.	Refere-se à habilidade de utilizar o conhecimento adquirido para a resolução de problemas práticos e em novas situações.	Compreende a capacidade de fragmentar o conteúdo em partes menores para compreensão da estrutura final.	Realizar julgamentos baseados em critérios internos ou externos para um fim específico.	Envolve o desenvolvimento de propostas novas e originais partindo da reunião de dados.
Verbos associados					
Reconhecer	Interpretar	Executar	Diferenciar	Verificar	Gerar
Relembrar	Exemplificar	Implementar	Organizar	Criticar	Planejar
Listar	Classificar	Computar	Atribuir	Julgar	Produzir
Nomear	Sumarizar	Resolver	Comparar	Recomendar	Criar
Definir	Inferir	Demonstrar	Contrastar	Justificar	Inventar
Escrever	Comparar	Utilizar	Separar	Apreciar	Desenvolver
Apontar	Explicar	Construir	Categorizar	Ponderar	Elaborar

Quadro 2: Níveis e objetivos do processo cognitivo da TBR.

Fonte: elaborado pelos autores baseado em Ferraz e Belhot (2010).

A estrutura da TBR relaciona a aquisição do conhecimento, desenvolvimento de habilidade e competência com a dimensão do conhecimento (substantivos) e a dimensão processo cognitivo (verbos). A dimensão conhecimento está relacionada ao conteúdo e contém quatro subcategorias, enquanto o processo cognitivo é considerado como o meio pelo qual o

conhecimento é adquirido. Além disso, a taxonomia representa uma hierarquia cumulativa em que uma categoria da dimensão conhecimento mais simples é pré-requisito para a próxima categoria mais complexa, ou seja, para atingir o nível Conceitual (nível 2) é necessário atingir o nível Factual (nível 1), para atingir o nível Procedural (nível 3) é necessário atingir os dois primeiros níveis (Factual e Conceitual).

Nessas configurações, a TBR torna-se elemento possível para estabelecer relações de apreciação e análise crítica dos resultados. Logo, classificamos as atividades propostas (AT1-AT8) – o teor de cada atividade que será explicitado mais adiante, ao analisar as respostas dos estudantes – ver Quadro 3.

Dimensão do conhecimento	Dimensão do processo cognitivo					
	Lembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Efetivo/factual	AT1 Verificar Concepções Prévias					
Conceitual			AT3 e AT6 Uso de Analogias	AT2, AT5 e AT7 Leitura e Interpretação de Textos		
Procedimental					AT4 Simulação Computacional	AT8 Elaboração de Plano de Aula
Metacognitivo						

Quadro 3: Atividades propostas classificadas segundo a TBR.

Fonte: elaborado pelos autores baseado em Ferraz e Belhot (2010).

De posse das respostas dos estudantes, os rendimentos foram analisados. Como forma de ilustração, alguns fragmentos de respostas são apresentados com uso de nomes fictícios. Ainda, realizamos uma “reflexão sobre a ação” – conceito apresentado por Schön (2000) que propõe um pensar retrospectivo sobre a ação realizada – através da qual refletimos sobre acontecimentos/observações durante as aulas de modo a analisar e adotar outros procedimentos, quando necessários. A reflexão sobre a ação consiste em pensarmos retrospectivamente sobre o que fizemos, almejando descobrir como nosso ato de conhecer-na-ação pode ter contribuído para um resultado (in)esperado, garantindo uma intervenção prática racional.

RESULTADOS

Na AT1, um único item é apresentado com sete afirmativas envolvendo características fundamentais da teoria quântica, como ser voltada ao tratamento do mundo subatômico, admitir a dualidade onda-partícula e probabilidades, a partir das quais foi solicitada a escrita

de um comentário perpassando-as. Esperava-se que os estudantes revelassem seu conhecimento sobre a MQ ao mobilizar a dimensão do conhecimento “Efetivo/Factual” combinada com o processo cognitivo “Lembrar”. São fragmentos demonstrativos:

“A mecânica quântica trata de fenômenos que desafiam nosso senso comum, e nessa perspectiva a realidade... os fenômenos acontecem numa escala subatômica... Um fato que intriga bastante, por exemplo, é o experimento dupla fenda... e o próprio ato de medir interfere no fenômeno [...]” (Rick).

“[...] A mecânica quântica estuda fenômenos relacionados a partículas muito pequenas, onde essas partículas são pequenas ondas que não podem ser vistas a olho nu [...]” (Lorena).

Desses exemplos, Rick apresenta familiaridade superficial com características básicas da teoria quântica. Enquanto, Lorena, conforme palavras usadas, repete as afirmações da atividade e comete equívocos conceituais. Em geral, os estudantes não reconheciam e nem se recordaram de conceitos da MQ que deveriam ter sido apreendidos em outros momentos. Como resultado, não foi possível definir se o nível de conhecimento dos estudantes adquiridos por contato prévio com a teoria através de outras disciplinas (em Física Moderna, por exemplo) e espaços sociais foi suficiente (ou não) para internalizar/fixar conceitos básicos da MQ.

Na dimensão do conhecimento “Conceitual” esperava-se a inter-relação dos elementos básicos da teoria quântica com o contexto mais elaborado a partir da discussão do argumento de EPR, fazendo as devidas conexões para sinalizar a compreensão do emaranhamento quântico e não-localidade. Ao designar a leitura e a interpretação dos textos científicos, exploramos o nível de cognição Analisar (AT2). Os estudantes ao serem questionados sobre do que tratam os textos de Einstein, Podolsky e Rosen (1935) e Schrödinger (1935), qual a problemática e que posição se assume/defende etc., respondem:

*“[...] os autores (EPR) assumem uma postura conservadora do ponto de vista da não aceitação da nova teoria por causa da impossibilidade de determinação... Textos como esse não têm o menor interesse em aproximar-se do leitor comum [...] Existem várias coisas que não entendi no texto de Schrödinger relacionadas ao contexto da discussão do tema e **eu gostaria de saber um pouco mais** [...]”* (Leo, grifo nosso).

*“O texto trata de uma discussão acerca das implicações da teoria quântica sobre a realidade física, é perceptível inicialmente dois problemas: a descrição da realidade dada pela função de onda na mecânica quântica não é completa, ou estas duas quantidades não podem ter realidade simultânea. O texto aparenta uma leitura fácil... mostra os **embates que foram travados na época** [...]. Para Schrödinger a rejeição do realismo tem*

*consequências lógicas... O valor medido deve determinar a realidade... O texto apresenta uma leitura um tanto complexa..., no entanto **foi satisfatório em termos de conhecimento***” (Rick, grifos nossos).

*“A ideia central do texto é clara e objetiva, **mas no que diz respeito ao tema específico que envolve a Mecânica Quântica, torna-se complicado para quem não tem familiaridade com a mesma**. A linguagem específica e avançada faz o leitor pensar e refletir necessitando de uma adaptação para ser aplicada em livros didáticos, justamente pelo caráter conceitual e matemático que a Mecânica Quântica apresenta. Na abordagem específica tive algumas dúvidas a respeito de alguns conceitos como: grau de liberdade e o caráter quântico da função de onda [...]”* (Rodrigo, grifo nosso).

Como resultados temos que dificuldades com a interpretação dos textos são sinalizadas. Os estudantes não avançam em seus escritos e não desenvolvem/aperfeiçoam a competência de interpretação de textos científicos. Apesar disso, temos indícios (trechos em negrito) de que o uso da HFC auxilia no estabelecimento de um processo dinâmico com potencial para estimular o interesse dos estudantes pela MQ.

Embora a leitura de textos com termos desconhecidos tenha criado dificuldades de compreensão, a atividade reflete o que afirmam Almeida e Queiroz: “não impede que eles se manifestem motivados pelo texto, se a leitura for organizada como uma atividade que lhes pareça significativa” (ALMEIDA; QUEIROZ, 1997, p. 67). Ao passo que liam os textos, indicavam entender o processo de construção do conhecimento científico da MQ – exemplo, fala de Rick – e reconheciam sua falta de familiaridade com as temáticas – fala de Rodrigo. Semelhantemente, ocorre nas atividades AT5 e AT7, referentes ao texto de Bell (1964) e de Aspect, Dalibard e Roger (1982).

Ao questionar, o que entenderam do texto de Bell, os principais argumentos apresentados pelo autor sobre a existência de estados emaranhados, suas consequências e admissão de um modelo de variáveis ocultas, os estudantes respondem:

“[...] a exigência da localidade tornava os resultados estatísticos incompatíveis. No entanto, foi construído uma interpretação de “variável oculta”, que leva em consideração a ideia de não-localidade... Não entendi o argumento em torno da matemática [...]” (Rodrigo).

“O texto aborda a localidade de uma teoria que não é completa, por não ter a capacidade de prever novos incrementos [...]. Se a função de onda for

considerada completa, não haverá novas hipóteses para implementar a teoria e a Mecânica Quântica terá seu objetivo cumprido” (Joaquim).

“O autor tenta explicar a variável oculta da mecânica quântica através de artifícios como o exemplo defendido por Bohm... Se a medição do componente $\vec{\sigma}_1 \cdot \vec{a}$, onde \vec{a} é algum vetor unitário, produz o valor + 1 então, de acordo com a mecânica quântica, a medição de $\vec{\sigma}_2 \cdot \vec{a}$ deve produzir o valor -1 e vice-versa. [...] o resultado de cada medição individual é determinado de uma variável extra, pois o valor dessa variável é desconhecido em instantes iniciais” (Leo).

O esperado era que discorressem sobre a teoria de variáveis ocultas e as alterações quanto ao pensamento físico de avaliação da natureza dos sistemas quânticos, evidenciando compreensão de como o ato de medir altera os resultados. No entanto, conforme exemplificado, as falas de Rodrigo e Leo, continuaram sinalizando fragilidades na interpretação dos textos e, respectivamente, no entendimento dos conceitos quânticos abordados. O fragmento da escrita de Joaquim revela erros conceituais e interpretativos.

Na atividade referente à leitura do texto de Aspect, Dalibard e Roger (1982), quando perguntado qual é a ideia mais importante que o autor pretende explicar em relação ao tema desse texto, os estudantes respondiam algo semelhante a Lorena: “com esse experimento, as desigualdades de Bell tornaram-se possível de teste salientando um novo olhar sobre a MQ. E é necessário desvincular-se da concepção clássica para entender a quântica”.

Em sua totalidade, as respostas não apresentavam profundidade na compreensão conceitual. Questionados, especificamente, sobre o experimento ou sobre o aspecto não-local da teoria – característica fundamental dos sistemas emaranhados –, os estudantes não conseguiam responder satisfatoriamente. A falta do conhecimento conceitual prévio e seu desenvolvimento limitado durante a aplicação da proposta implicou em dificuldades de aprendizagem, seja por limitações na elaboração da proposta ou pela falta de dedicação ao processo de leitura e interpretação.

Ainda, a dimensão do conhecimento Procedimental/Procedural foi observada na AT4 que explora características do emaranhamento através do interferômetro de Mach-Zehnder e propõe avaliar a compreensão dos estudantes sobre o que é representado através de simulação computacional. Os estudantes tiveram dificuldade em manipulá-lo, uns por não terem familiaridade com o aplicativo, outros por não conseguirem avaliar fisicamente o que estava acontecendo. Por exemplo, Alice aponta: “[...] esperava haver detecção em apenas dois detectores. Com a configuração de emaranhamento, não esperava tais resultados, seria mais plausível os resultados no item 4”.

Por fim, na mesma dimensão Procedimental/Procedural, a atividade AT8 explora o processo cognitivo Criar com proposta de elaboração de plano de aula. Os estudantes precisariam articular seu conhecimento sobre MQ através da reflexão sobre a transposição didática observando as relações didático-pedagógicas e estratégias metodológicas para o ensino, aproximando aspectos pertinentes à futura prática docente, bem como à estimada articulação teoria-prática. Foram apresentados cinco planos de aula com tópicos da velha MQ e dois sobre a MQ. A seguir, um exemplo:

I. Plano de aula

II. Dados de Identificação:

Professor(a): Joaquim
Conteúdo: Mecânica Quântica
Série: 3º ano Ensino médio

III. Tema: Mecânica Quântica (MQ)

IV. Objetivos:

Objetivo geral: Compreensão conceitual, histórica e fenomenológica da problemática inicial do surgimento da teoria quântica no que diz respeito à sua completude.

Objetivos específicos: Visualizar o determinismo clássico e a problemática da quebra paradigmática que ocorreu no processo, introduzir o princípio de incerteza de Heisenberg, a ideia e importância da função de onda na mecânica quântica.

V. Conteúdo: Contexto histórico (20 min)

VI. Desenvolvimento do tema: Contextualização histórica

VII. Recursos didáticos: PowerPoint

VIII. Avaliação: Avaliação processual

Atividades: Perguntas problemas

XIX. Bibliografia:

Pode a descrição da Mecânica Quântica sobre a realidade física ser considerada completa? (A. Einstein, B. Podolsky e N. Rosen, 1935).
Tópicos da física Volume 3, Newton, Gualter, Helou editora Saraiva.

No exemplo, percebemos que o estudante Joaquim não apresenta adequadamente o que seria de fato realizado. Em geral, os planos de aula revelam que a esperada articulação conteúdo-estratégia-recurso não foi alcançada. Pode-se elencar cinco tipos de equívocos recorrentes, a saber: 1) dificuldades em estabelecer objetivos de ensino; 2) tempo de duração não definido; 3) limitação na apresentação das estratégias metodológicas a serem

utilizadas; 4) erro na descrição e/ou do processo de avaliação; 5) referências limitadas ou não seguras. Por se tratar de futuros professores e de o curso piloto ser implementado na disciplina de Metodologia para o Ensino de Física, essa atividade revela a necessidade de mais oportunidades como essa, de se buscar a articulação teoria-prática.

Em síntese, com a implementação da proposta didática, os estudantes tiveram a oportunidade de analisar quatro textos de cientistas e perceber o processo de construção do conhecimento científico da MQ, conectando-os aos conhecimentos básicos para chegar a compreender o que é o emaranhamento quântico e a não-localidade.

Dos resultados obtidos, reconhecemos que a leitura em si não favorece o aprendizado de conceitos físicos, assim como a prática de leituras no ensino de Física não é comum. Contrário ao que afirma Montenegro (2005), a inclusão da leitura de textos de cientistas – pelo menos em nosso contexto – não facilitou, em sua totalidade, o processo de compreensão conceitual. As contribuições esperadas esbarraram na falta do hábito e do gosto pela leitura por parte dos estudantes, bem como na ausência de conhecimento em MQ para desenvolver competências de interpretação e análise textuais – aspectos que trazem dificuldades ao processo cognitivo e na aquisição de conhecimento, competências e habilidades (ver Quadro 4).

TAXONOMIA DE BLOOM REVISADA	Conhecimento	LEMBRAR	Os conceitos fundamentais básicos para a compreensão histórica não foram devidamente fixados.
		ENTENDER	São percebidas dificuldades para entender os conceitos fundamentais oportunizados na proposta, embora não haja dificuldade em entender o contexto histórico discutido. Métodos didáticos diversificados auxiliam na compreensão e contínua busca por aprendizagem.
	Competência	APLICAR	Há uma deficiência em colocar o conhecimento em uma situação nova. Esse processo foi facilitado em sala de aula através da mediação do professor.
		ANALISAR	Os estudantes são capazes de analisar e interpretar os textos, mas há limitações sobre a compreensão conceitual. Esse incentivo precisa ser contínuo, de modo a criar uma cultura de análise textual.
	Habilidade	AVALIAR	Os estudantes não conseguiram avaliar situações baseadas nos novos conhecimentos, mas reconhecem que se ampliou a visão de ciência criando uma postura mais crítica.
		CRIAR	O incentivo a novas posturas estimula a criatividade, mas é preciso de conhecimento consistente da MQ para melhores resultados.

Quadro 4: Processo cognitivo observado nos resultados da implementação

Fonte: elaborado pelos autores.

No entanto, ao associar a HFC e a leitura de textos, sendo utilizados como ferramenta didática, contribuiu na formação de sentidos dos conceitos físicos para os estudantes e na interpretação da ciência como atividade humana. O contato com a MQ através da HFC foi garantido, bem como a percepção do processo de construção do conhecimento e dificuldades enfrentadas pelos cientistas.

A utilização do método aqui proposto para outros contextos fica condicionada a maior atenção a pré-requisitos necessários à compreensão da MQ, como, por exemplo, conhecimento de uma interpretação da teoria para sustentação de conceitos como o Princípio da Incerteza ou a Dualidade onda-partícula. Adequações no plano da proposta didática poderão ser realizadas nesse sentido.

REFLEXÃO SOBRE A AÇÃO E ALGUMAS CONCLUSÕES

Olhar para o método de ensino nos leva a reflexão de que tão importante quanto as estratégias didáticas – as quais o professor deliberadamente planejou para que o estudante construa e mobilize conhecimentos de forma mais autônoma para a obtenção de objetivos educacionais e com relativo controle – são as relações conceito/conteúdo. As articulações entre os recursos adotados, o papel do próprio professor e as ações dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem precisam de maior atenção.

Concluímos que os estudantes compreenderam o contexto histórico, mas apresentaram dificuldade na compreensão conceitual e na relação teoria-prática. Foi eficaz a contextualização histórica, mas é preciso maior comprometimento com o processo de aprendizagem. Entre as causas, um olhar para a classificação hierárquica das atividades via TBR mostra que foram exigidos domínios avançados e os estudantes não tinham uma dimensão cognitiva desenvolvida para um bom desempenho. A concentração das atividades em níveis de maior complexidade configurou-se como um aspecto limitador de sucesso.

É contribuição deste estudo revelar a necessidade de uma adequada valorização das capacidades dos estudantes para o desenvolvimento cognitivo e conceitual. Inferimos que é ineficaz priorizar processos cognitivos de conhecimento em que predomine a memorização bem como é deficitário exigir habilidades cognitivas mais complexas, ainda que em contextos interdisciplinares. A valorização de processos cognitivos intermediários, como Entender e Aplicar, apresentam-se mais viáveis.

Ainda chamamos atenção para cuidados necessários aos que almejem replicar o referido estudo, como a relação do tempo estimado e do tempo real de implementação. Foram previstos oito encontros de 1h30 cada, mas, efetivamente, por razões diversas – atraso para começar as aulas ou falta de pontualidade dos estudantes – foi menor o tempo para exposição/discussão do conteúdo. Houve falta de dedicação dos estudantes na realização

das atividades propostas, bem como negligência quanto ao ritmo de estudo necessário para obtenção de sucesso nos estudos e no desenvolvimento de uma postura mais autônoma – os estudantes ainda não desenvolveram esse perfil ou escolhem qual disciplina merece mais atenção/dedicação. Essas são situações que acontecem com frequência nas instituições e os pesquisadores devem considerar ao elaborar propostas inovadoras e buscar meios estratégicos para maior incentivo na realização das atividades.

Nesse movimento de refletir sobre a ação, com maior consciência dos movimentos didáticos, chegamos à conclusão da necessidade de reestruturação da proposta didática, admitindo preocupação de aproximar os objetivos do curso aos anseios e interesses dos estudantes, percebendo a função do professor para além da veiculação do conhecimento em sala de aula. Apesar disso, a HFC mostra-se ferramenta em potencial para promover ricas trocas histórico-conceitual fundamentais para que se prossiga com aprendizagem, e práticas como a apresentada podem ser realizadas sem prejuízos educacionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo piloto apresentam contribuições no sentido de reflexão sobre métodos de ensino: 1) incentiva discussões condizentes com o uso didático da HFC no ensino da MQ; 2) proporciona conhecimento quanto aos processos que devem ser observados na elaboração de propostas didáticas e das interpelações necessárias entre o referencial teórico-metodológico que possibilite o desenvolvimento dos processos cognitivos; e 3) chama atenção de pesquisadores da área para os processos de elaboração e/ou avaliação, segundo a categorização da TBR.

A adoção da TBR mostra que, dada a complexidade do tema (implicações físicas e filosóficas) para adquirir competências e habilidades para, posteriormente, dominar os conceitos, o processo de transmissão e recepção do conhecimento exige uma sequência e uma evolução dos fatos de acordo com a maturidade do indivíduo que está recebendo.

Por fim, sinaliza-se encaminhamentos para a aprendizagem que favorecem a reflexão docente com relação tanto às potencialidades como às alternativas de minimização das dificuldades vivenciadas pelas intervenções curriculares realizadas. Espera-se que as ações apresentadas contribuam para visibilidade das práticas de reorientação curricular que estão sendo desenvolvidas na área de ensino da MQ.

REFERÊNCIAS

ALLCHIN, Douglas. Teaching the nature of Science: perspectives and resources. *SHIPS Education Press*, Saint Paul, v. 98, nov. 2013.

ALMEIDA, Maria José Perreira Monteiro de; QUEIROZ, Elizabeth C. L. Divulgação científica e conhecimento escolar: um ensaio com adultos. *Cadernos CEDES*, Campinas, v. 17, n. 41, p. 62-68, 1997.

ANDERSON, Lorin W.; KRATHWOHL, David R.; BLOOM, Benjamin Samuel. *A Taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom's Taxonomy of educational objectives*. [S.l.]: Allyn & Bacon, 2001.

ARTIGUE, M. Didactical Engeneering as a framework for the conception of teaching products. In: BIEHLER, R. E. A. (ed.). *Didactics of Mathematics as a scientific discipline*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994. p. 27-39.

ASPECT, Alain; DALIBARD, Jean; ROGER, Gérard. Experimental test of Bell's inequalities using time-varying analyzers. *Physical Review Letters*, v. 49, n. 25, p. 1804-1807, dez. 1982.

BELL, J. S. On the Einstein Podolsky Rosen Paradox. *Physics*, [S.l.], v. 1, n. 3, p. 195-200, nov. 1964.

BRASIL. Ministério da Educação. *Diretrizes curriculares para os cursos de bacharelado e licenciatura em Física*. Brasília: Parecer nº CNE/CES nº 1304/2001, de 03 de abril de 2001.

BRASIL. Ministério da Educação. Diretrizes curriculares nacionais para a formação inicial e continuada dos profissionais do magistério da educação básica. Brasília: Parecer CNE/CP 2/2015, de 9 de junho de 2015.

COLL, César; POZO, Juan Ignacio; SARABIA, Bernabé; VALLS, Enric. *Los Contenidos en la Reforma: enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes*. Buenos Aires: Santillana, 1992.

CUESTA-BELTRÁN, Yeison Javier. Estado del arte: tendências en la enseñanza de la Física Cuántica entre 1986 y 2016. *TED*, Bogotá, n. 44, p. 147-166, segundo semestre de 2018.

DELIZOICOV, Nadir Castilho; SLOGO, Iône Ines Pinsson; HOFFMANN, Marilisa Bialvo. História e Filosofia da Ciência e formação de professores: a proposição dos cursos de licenciatura em Ciências Biológicas do sul do Brasil. In: X CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO: Seminário internacional de representações sociais, subjetividade e educação, 2011, Curitiba. *Anais...* Curitiba: [s.n.], 2011. p. 7-10.

EINSTEIN, A.; PODOLSKY, B.; ROSEN, N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, [S.l.] v. 47, n. 10, p. 777-780, maio 1935.

FELDMAN, Daniel. *Ajudar a ensinar: relações entre didática e ensino*. Porto Alegre: Artes Médicas, 2001.

FERRAZ, Ana Paula do Carmo Marcheti; BELHOT, Renato Vairo. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. *Gestão & Produção*. [online]. v. 17, n. 2, p. 421-431, 2010.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. A filosofia mística e a doutrina newtoniana: uma discussão historiográfica. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, Florianópolis, v. 1, n. 3, p. 29-53, nov. 2008.

FREIRE Jr., Olival. Philosophy enters the optics laboratory: Bell's theorem and its first experimental tests (1965-1982). *History and Philosophy of Modern Physics*, v. 37, n. 4, p. 577-616, dez. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2005.12.003>.

PÉREZ, Daniel Gil *et al.* Para uma imagem não-deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GRECA, I. M.; FREIRE, O. Meeting the Challenge: Quantum Physics in Introductory Physics Courses. In: MATTHEWS, Michael R. (ed.). *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht: Springer, 2014. p. 183-209.

HEERING, P.; HÖTTECKE, D. Historical-investigative approaches in Science teaching. In: MATTHEWS, Michael R. (ed.). *International handbook of research in History, Philosophy and Science teaching*. New York: Springer, 2014. p. 1473-1502.

HOLTON, Gerald. What historians of Science and Science educators can do for one another? *Science Education*, v. 12, n. 7, p. 603-616, out. 2003.

KOHNLE, Antje *et al.* A New Introductory Quantum Mechanics Curriculum. *European Journal of Physics*, v. 35, n. 1, 2014.

KRAGH, H. *An introduction to the historiography of science*. Cambridge University Press: New York, 1989.

KRAGH, H. A sense of history: history of science and the teaching of introductory quantum theory. *Science & Education*, Dordrecht, v. 1, n. 4, p. 349-363, 1992.

LIMA, Luís Gomes de; RICARDO, Elio Carlos. O Ensino da Mecânica Quântica no nível médio por meio da abstração científica presente na interface Física-Literatura. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 36, n. 1, p. 8-54, abr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p8>.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli E. D. A. *Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, Roberto A. Introdução. A história das Ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle Celestino (org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. 21-34.

MATTHEWS, Michael. História, Filosofia e ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

MONTENEGRO, A. G. P. M. *A leitura de textos originais de Faraday por alunos do Ensino Fundamental e Médio*. 2005. 98 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MOREIRA, Marco Antonio; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino do método científico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 10, n. 2, p. 106-117, 1993.

OSTERMANN, Fernanda; PRADO, Sandra Denise. Interpretações da mecânica quântica em um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 193-203, abr./jun. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172005000200003>.

PRAIA, João; PÉREZ, Daniel Gil; VILCHES, Amparo. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

SCHÖN, Donald A. *Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem*. Tradução de Roberto Catal do Costa. Porto Alegre: Artmed, 2000. 256p.

SCHRÖDINGER, E. Die gegenwärtige situation in der Quantenmechanik. *Naturwissenschaften*, Berlin, v. 48, n. 23, p. 807-812, 823-828, 844-849, 1935.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. História e Filosofia da Ciência como subsídio para elaborar estratégias didáticas em sala de aula: um relato de experiência em sala de aula. *Revista Ciência & Ideias*, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2012.

SILVA, Cibelle Celestino (org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

SOUZA, Rafaelle da Silva; LIMA, Indianara; TEIXEIRA, Elder Sales. Conceitos de Física Quântica na formação de professores: construindo uma proposta didática orientada pela História e Filosofia da Ciência. In: 16º SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA, 2018, Campina Grande. *Anais eletrônicos...* Campina Grande, [s.n.], 2018.

VYGOTSKY, Lev Semyonovich. *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1989.

VYGOTSKY, Lev Semyonovich. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

Rafaelle da Silva Souza

Doutoranda em Ensino, Filosofia e História das Ciências pela Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, Brasil. Professora de Física no Instituto Federal da Bahia, campus Seabra.

rafaellessouza@gmail.com

Indianara Lima Silva

Doutora em Ensino, Filosofia e História das Ciências pela Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, Brasil, 2013. Professora adjunta da Universidade Estadual de Feira de Santana.

indianara.slima@gmail.com

Elder Sales Teixeira

Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências pela Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, Brasil, 2010. Professor adjunto da Universidade Estadual de Feira de Santana.

eldersate@gmail.com