

ANÁLISE DOS SIGNIFICADOS CONSTRUÍDOS PELOS ESTUDANTES SOBRE A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER NO ENSINO MÉDIO TECNOLÓGICO.

Dielson P. Hohenfeld
IFBA/DCA/Campus Salvador
dph@ifba.edu.br

Maria Cristina M. Penido
UFBA/IFUFBA/Campus Ondina
mcrist@gmail.com

Jancarlos M. Lapa
IFBA/DCA /Campus Salvador
jancarloslapa@gmail.com

RESUMO: Neste trabalho investigamos os significados construídos sobre o laboratório de simulação computacional, utilizando a simulação do interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ), por estudantes da educação básica tecnológica de três turmas do ensino médio técnico integrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia nos Campuses de Salvador e Camaçari. Realizamos filmagens durante as aulas sobre a dualidade da luz no ensino médio como forma de introduzir os conceitos de física quântica e através da metodologia de análise discursiva textual interpretamos os significados construídos pelos estudantes. Por fim, apresentamos os significados construídos na atividade e apontamos potencialidades e limitações desta quando realizada isoladamente sem o laboratório convencional.

PALAVRAS CHAVE: Dualidade da Luz, Simulação Computacional, Interferômetro de Mach-Zehnder.

INTRODUÇÃO

O constante desenvolvimento das tecnologias da informação e comunicação (TIC) e o atual debate sobre as possíveis contribuições e modificações de sua inserção na educação nos fazem refletir sobre as suas implicações no ensino de física. Essa discussão é necessária, pois de uma forma ou de outra essas

tecnologias estão presentes no ambiente escolar e podem intensificar ou mesmo modificar as relações de comunicação ao potencializar as interações existentes na escola. A inserção das simulações computacionais no ensino de física nos motiva a experimentar metodologias/estratégias que busquem inovações para essa atividade. Em paralelo, existem intensas discussões sobre a inserção da física moderna e contemporânea (FMC) no ensino médio. Autores como Pereira e Ostermann (2009) dentre outros, aproximam seus trabalhos de FMC no currículo da escola média com as discussões sobre a utilização das TIC na educação, pois investigam estratégias de ensino estruturadas nas tecnologias atuais, em especial utilizam as simulações computacionais para a inserção da FMC.

A construção do conhecimento científico tem como base fundamental a busca de interpretações, teorias e leis que regem os fenômenos da natureza, utilizam-se os modelos explicativos, com suas normas de eficiência e o julgamento de pertinência, têm na experimentação os argumentos empíricos que colaboram com a sua existência e validade. A simulação computacional é um dos novos gêneros de saber, uma vez que seus modelos são fortemente explorados de forma interativa, pois a manipulação de parâmetros para simular as diversas situações, desenvolve uma relação entre o sujeito e o objeto simulado, para além de um simples consumo da informação, avançando nas relações de causa e efeito do fenômeno estudado. Dessa forma, é capaz de estruturar a construção de conhecimento e não apenas o consumo da informação. Os modelos simulados são fluidos no sentido da facilidade e na velocidade que podem ser continuamente modificados e aperfeiçoados, tornando-os extremamente dinâmicos e transitórios. Essas características fazem dos modelos digitais importantes aliados no desenvolvimento da Ciência. As simulações computacionais potencializam as discussões sobre o modelo teórico de forma mais plástica e interativa, tendo entre outros benefícios a avaliação mais rápida e menos custosa de novos modelos.

A NATUREZA DA LUZ E A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO IMZ

Pessoa Jr (1997) propõe a introdução da física quântica no ensino a partir da discussão da dualidade onda-partícula da luz, pois considera que dentro das diversas perspectivas da essência da física quântica (FQ), essa é a mais relevante. Para isso, propõe a discussão utilizando o IMZ. Ricci, Ostermann e Prado (2007) também argumentam a favor dessa inserção a partir da dualidade da luz discutida no experimento do IMZ, para cursos introdutórios de FQ e levando em consideração as diversas dificuldades de implantação de uma atividade de laboratório com o IMZ, em especial pela necessidade de uma fonte de laser em regime monofotônico, desenvolvem uma banca de simulação computacional do IMZ como forma de introduzir a FQ nos cursos de graduação. Pereira e Ostermann (2009) propõem também essa inserção com o simulador do IMZ para o ensino médio.

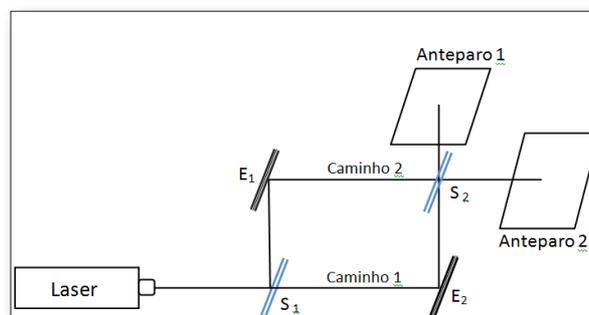


Fig. 1. Esquema do IMZ

O IMZ é um aparato experimental utilizado nas pesquisas de física em geral para caracterizar propriedades ópticas de materiais. Na figura 1, temos um esquema didático do IMZ, ele é formado basicamente por uma fonte de laser que permite emissão de fótons únicos, ou seja, no regime monofotônico, dois espelhos de reflexão total E_1 e E_2 , dois semi-espelhos S_1 e S_2 com reflexão de 50%, dois espelhos E_1 e E_2 , e por fim dois anteparos onde podemos observar as figuras de interferência. O feixe de luz tem dois caminhos ópticos independentes para percorrer. Ao passar pelo espelho S_1 o feixe é dividido, uma parte dele é refletido e uma parte atravessa o espelho S_1 seguindo o caminho 1 até encontrar o espelho E_2 onde sofre uma reflexão total e segue ao semi-espelho S_2 . A outra parte do feixe que é refletido em S_1 segue para o espelho E_1 sofre uma reflexão total é refletida e segue para o semi-espelho S_2 constituindo assim o caminho 2. Após passar pelo semi-espelho S_2 os feixes oriundos de caminhos distintos reencontram-se e são observados as figuras de interferências desses feixes nos anteparos 1 e 2. Nos anteparos são formadas figuras que representam as combinações construtivas e destrutivas desses feixes, numa vemos a superposição construtiva reconstituindo a luz e em outra a superposição destrutiva, onde a luz é aniquilada. Isto acontece devido à diferença de fase dos feixes de $\lambda/2$, de tal forma que a luz que é reconstituída no anteparo 1 e destruída no anteparo 2. Esse aparato experimental pode ser simulado por um programa disponível em www.if.ufrgs.br/~fernanda/IMZ.

CAMINHO METODOLÓGICO

Na produção dos dados empíricos realizamos filmagens das aulas de laboratório onde utilizávamos as simulações computacionais e a partir das quais selecionamos episódios para análise. Segundo Moraes e Galiuzzi (2011) as pesquisas qualitativas frequentemente utilizam-se das análises textuais, pois pretendem aprofundar a compreensão de fenômenos investigados com uma análise rigorosa e criteriosa de dados a partir de textos, entrevistas, ou observações. Nessas análises, o objetivo não é testar hipóteses para comprová-las ou refuta-las e sim compreender e reconstruir significados sobre os temas investigados. Neste sentido optamos pela Análise Textual Discursiva (ATD), que corresponde a uma metodologia de análise de dados qualitativa com a finalidade de produzir novas compreensões sobre os fenômenos e discursos investigados. Segundo Moraes e Galiuzzi (2011) a ATD possibilita a construção por meio das categorias e subcategorias produzidas da análise em meta-textos que possibilitam a descrição e a interpretação representando o conjunto num modo de compreensão e teorização dos fenômenos investigados.

ATD é um processo auto-organizado constituído de componentes cíclicos:

1. A desconstrução dos textos do «*corpus*», a unitarização.
2. O estabelecimento de relações entre os elementos unitários, a categorização.
3. O captar emergente em que a nova compreensão é comunicada e validada.

A desconstrução ou unitarização é o processo de desmontagem do texto para examiná-lo em detalhes, uma espécie de fragmentação para atingir as unidades básicas constituintes do discurso, referentes aos fenômenos investigados. No entanto, ela não pode ser realizada de forma isolada do todo para não ocorrer à fragmentação clássica do cartesianismo. O processo deve ser concebido como parte do ciclo de pesquisa exigindo-se; um permanente exercício de projetar-se para frente e ao mesmo tempo reconsiderar o caminho já percorrido, sempre no sentido da construção do objeto, de forma a atingir maior aprofundamento nas análises (Moraes e Galiuzzi, 2011).

PRODUÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Tendo como referências os trabalhos de Pessoa (1997) e Ricci, Ostermann e Prado (2007) que propõe a inserção da física quântica a partir da discussão da dualidade onda-partícula da luz utilizando o IMZ e a proposta de Pereira (2009). Filmamos uma sequência didática em três turmas do ensino técnico integrado do Instituto Federal de Educação Tecnológica da Bahia – IFBA, nos Campus de Salvador e Camaçari. Para isso realizamos três encontros com as turmas. Utilizamos como recurso didático o vídeo Dr. Quântico disponível em <http://youtu.be/cJtBtjmoucQ>, o artigo proposto por Pessoa (1997) que apresenta a discussão filosófica e conceitual da física quântica a partir do estudo do interferômetro de Mach-Zehnder. Embora não tenhamos aprofundado em todas as discussões propostas pelo artigo, centramos nas ideias fundamentais e principais da dualidade da luz tendo em vista o papel do observador na teoria quântica e as diversas interpretações possíveis. Por fim temos a aula com a simulação do IMZ.

Após analisar as filmagens percebemos em alguns grupos de estudante a discussão sobre a simulação feita no computador onde emergem categorias de análise textual discursiva do diálogo entre os pressupostos teóricos e os dados empíricos oriundos das unidades textuais. Segue a síntese e descrição das categorias emergentes da ATD;

1. *Validade da Simulação* – nessa categoria os estudantes põem em dúvida se a simulação computacional de fato tem como referência algo que eles consideram a realidade do fenômeno estudado, questionam se a simulação representa o experimento real.
2. *Limitação da interpretação* – A discussão sobre as possíveis interpretações da natureza da luz presente no artigo de Pessoa Jr (1997) faz com que os estudantes atribuam significados sobre a limitação na interpretação do IMZ, pois segundo eles a simulação é limitada por uma interpretação previamente estabelecida pelo físico que trabalhou na construção do programa.
3. *Observação do Experimento* – nesta categoria os estudantes apresentam que o papel do observador interfere na construção da simulação.
4. *Limitação da simulação* – atribuem limites técnicos do programa, devido à linguagem utilizada na programação que restringem as possibilidades de uma simulação mais completa do fenômeno. Para exemplificar essas categorias destacamos o episódio a seguir onde a atividade estava na etapa final de discussão dos resultados e da própria aula.

Episódio : Discussão da Simulação com o Professor 1

[DSP1E11_1] «Ô professor, a própria reprodução aqui da física,... nem sempre é a reprodução do próprio experimento original, [DSP1E12_2] mas é exatamente a limitação da análise do próprio físico que fez o estudo e então talvez por aqui não dê para tirar nenhuma conclusão. [DSP1E13_2] A ideia que se tem é que vai parar na ideia do físico. [mediação do Prof.] [DSP1E14_2] o programador foi limitado pela visão do físico no experimento, pra gente analisar aqui vai ter a mesma limitação da visão do físico».

Neste discurso unitarizamos em quatro elementos constituinte de unidade de significado no primeiro fragmento [DSP_iE_r1_1] percebe-se que o questionamento esta relacionado com a natureza da Ciência em particular sobre a validade da atividade experimental baseada na simulação computacional dessa forma exemplifica a categoria 1 - Validade da Simulação. Essa categoria emergente parte da interpretação com base na intuição analítica do pesquisador sobre os discursos dos sujeitos em processos cíclicos de leituras de ida e vinda constantes e dialogo com o referencial teórico. Tanto o segundo [DSP_iE_r2_2] como o terceiro [DSP_iE_r3_2] fragmento apresentam uma unidade de significação com respeito à interpretação do Físico com relação à FQ, mostrando assim a categoria 2 - Limitação da Interpretação. O estudante percebe que sua interpretação deverá ficar limitada a interpretação feita

pelo Físico, que auxiliou na construção da simulação computacional, uma vez que foi destacado na sequência didática a possibilidade de existência de pelo menos quatro interpretações muito presentes na física quântica Pessoa Jr. (2003). Possibilitando assim o estudante construir significação sobre o papel do físico na interpretação da dualidade da luz. Na última unidade de análise desse discurso [DSP_E4_2] reforça a construção do significado por parte do estudante com referência a limitação das possíveis interpretações limitadas à interpretação presente na concepção da simulação. Na continuação do episódio vemos isso mais claramente no seu texto:

[DSP1E14_2] ... por que o físico só enxergou X – fenômeno aqui [apontando para o programa na tela do computador] vai limitar a esse X-fenômeno talvez o físico não observou outro fenômeno, outra situação, que aqui não vai poder existir.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta investigação sobre a utilização das simulações computacionais do IMZ no ensino médio, nota-se que embora possamos superar desafios iniciais como, por exemplo, de custo e operacionalidade técnica, de uma atividade de laboratório convencional envolvendo a dualidade da luz como introdução a FQ, no entanto, percebe-se que além da construção de significados conceituais são construídos também aspectos relacionados a concepções sobre a natureza da ciência em particular sobre o papel do observador e suas interpretações na FQ.

Na análise dos episódios interpretamos que os estudantes envolvidos na investigação, constroem significados sobre a limitação e validade da simulação. Eles atribuem que o papel do observador e da sua interpretação sobre a natureza da luz implica em limites e possibilidades que orientam o programa de simulação. A programação tem restrições tanto do ponto de vista técnico da linguagem quanto da interpretação e observação da natureza da luz. Essas restrições guiam e limitam as possibilidades de interferências das concepções e interpretações dos estudantes. Dessa forma, precisamos ter cuidado na substituição do laboratório convencional, por estes de simulação computacional. Os laboratórios baseados na instrumentação e equipamentos físicos são referências importantes na formação de significados dos estudantes e não impõe concepções previamente estabelecidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PEREIRA, A. P. de; OSTERMANN, F.(2009): Introduzindo Conceitos de física quântica no ensino médio a partir de um interferômetro virtual de MACH-ZEHNDER. *Simpósio Nacional de Ensino de Física XVIII*. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0528-1.pdf>
- PESSOA JR, O.(1997). Interferometria, Interpretação, Intuição: Uma Introdução Conceitual da Física Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 19, n. 1, março. Conceitos de Física Quântica, Livraria da Física, São Paulo, 2003.
- RICCI, T.; OSTERMANN, F.; PRADO, S.(2007). O tratamento clássico do interferômetro de Mach-Zehnder: uma releitura mais moderna do experimento de duas fendas na introdução da física quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29, 81-90.
- MORAES, R.; GALIAZZI, M.C.(2011) *Análise Textual Discursiva*. Ed. Unijuí.