



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO,
FILOSOFIA E HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS



DIELSON PEREIRA HOHENFELD

**A NATUREZA QUÂNTICA DA LUZ NOS
LABORATÓRIOS DIDÁTICOS CONVENCIONAIS E
COMPUTACIONAIS NO ENSINO MÉDIO.**

SALVADOR

2013

DIELSON PEREIRA HOHENFELD

**A NATUREZA QUÂNTICA DA LUZ NOS LABORATÓRIOS
DIDÁTICOS CONVENCIONAIS E COMPUTACIONAIS NO
ENSINO MÉDIO.**

Trabalho de tese apresentado ao Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Estadual de Feira de Santana, para defesa e avaliação como requisito para obtenção do grau de doutoramento em Ensino de Ciências.

Orientadora: Prof^a. Dra. M^a. Cristina M. Penido

SALVADOR

2013

H****

Hohenfeld, Dielson Pereira

A natureza quântica da luz nos laboratórios didáticos convencionais e computacionais no ensino médio./ Dielson Pereira Hohenfeld – Salvador: 2013. 146 f.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina M. Penido

Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira de Santana.
Instituto de Física: Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências,
Salvador, BA-Brasil, 2013.

1. Ensino de Física, 2. Laboratório de Física, 3. Laboratório de Simulação Computacional, 4. Laboratório Convencional.

DIELSON PEREIRA HOHENFELD

**A NATUREZA QUÂNTICA DA LUZ NOS LABORATÓRIOS
DIDÁTICOS CONVENCIONAIS E COMPUTACIONAIS NO
ENSINO MÉDIO.**

Defesa de tese do Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Data de aprovação: _____ de _____ de 2013.

BANCA EXAMINADORA

Aurino Ribeiro Filho _____

Doutor em Theoretical Physics pela University Of Essex.

Universidade Federal da Bahia

Marcelo Giordan Santos _____

Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas.

Universidade de São Paulo

Maria Cristina M. Penido _____

Doutora em Educação, pela Universidade de São Paulo.

Universidade Federal da Bahia

Osvaldo Frota Pessoa Junior _____

Doutor em História e Filosofia da Ciência, pela Indiana University.

Universidade de São Paulo.

Vitor Duarte Teodoro _____

Doutor em Ciências da Educação pela Universidade Nova de Lisboa

Universidade Nova de Lisboa

À Pró Lisete,

Minha vó, hoje com quase 89 anos alfabetizou muitas gerações.

Agradecimentos

Na realidade é uma rede infinita de agradecimentos, então vou citar apenas alguns.

Aos meus pais, pelo apoio, dedicação e amor ao longo da minha vida. À minha amada esposa Ana Paula e meus dois filhos Yan e Yuri que são meus pontos de equilíbrio e desequilíbrio, sem o amor deles não teria superado os momentos difíceis dessa etapa. E minhas irmãs pela lealdade e amizade.

Meus sinceros agradecimentos à professora Cristina que navegou comigo nesse projeto numa convivência harmoniosa, fruto de sua incontestável habilidade de conduzir sem impor, orientar sem limitar, de cobrar sem desmotivar e o mais importante a sua capacidade de acreditar nas pessoas. Aos colaboradores do grupo de pesquisa em especial Jancarlos e Cleber pelas contribuições nas discussões e execução das etapas fundamentais dessa pesquisa.

Aos colegas do IFBA que sempre me acolheram com apoio e incentivo durante as atividades profissionais. E aos estudantes que participaram dessa caminhada.

Ao Prof. Ossamu Nakamura pela ajuda na reprodução do interferômetro de Mach-Zehnder. E o prof. Osvaldo Pessoa, que além das suas contribuições teóricas, emprestou seu interferômetro viabilizando a pesquisa.

Aos familiares e amigos, que souberam respeitar minha ausência.

RESUMO

Investigando o currículo da Licenciatura em Física na Bahia-Brasil percebemos a necessidade de inserir os laboratórios de simulação computacional no contexto das atividades de formação desses futuros professores, como forma de possibilitar uma maior vivência desses com as tecnologias de informação e comunicação, visando à inserção das mesmas no ensino de física. Ao mesmo tempo, pesquisas recentes, apontam na integração dessas tecnologias nas atividades experimentais. Neste trabalho investigamos essa possível integração nas aulas do ensino médio, em particular, na articulação dos laboratórios didáticos convencionais com os computacionais. Tendo como objetivo principal analisar os significados construídos pelos estudantes sobre a parte conceitual da física, no que diz respeito a aspectos da interpretação filosófica da natureza quântica da luz e também da atividade experimental utilizando os aspectos potenciais dos laboratórios convencionais e de simulação computacional. Partimos da análise dos tipos e objetivos dos laboratórios didáticos no ensino de física. Chegamos ao laboratório didático computacional mostrando as potencialidades e limitações de sua utilização isolada e apresentamos argumentos favoráveis à sua articulação com o laboratório didático convencional numa perspectiva de complementaridade. Essa abordagem visa superar as limitações e aproveitar as potencialidades de cada laboratório mostrando um contexto mais amplo do espectro das atividades experimentais para as aulas de física. Para investigar nosso problema optamos por analisar sequências didáticas em aulas de laboratório sobre a natureza da luz com estudantes do ensino médio. Os dados empíricos foram produzidos a partir de filmagens das aulas de laboratório de simulação computacional e convencional com o interferômetro de Mach-Zehnder no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, em turmas do ensino médio. Os episódios selecionados foram analisados através da análise textual discursiva. A partir dos resultados interpretamos que os estudantes envolvidos na investigação constroem significados sobre a dualidade da luz e dos laboratórios computacionais e convencionais. Este trabalho integra a tese de doutorado sobre a complementaridade dos laboratórios convencionais e de simulação computacional no ensino de física. Por fim, apontamos as perspectivas futuras para a tese.

Palavras-chave: Ensino de Física, Laboratório de Física, Laboratório de Simulação Computacional, Laboratório Convencional.

ABSTRACT

Investigating the curriculum of the degree in physics in Bahia-Brazil we realized the need to enter the laboratories of computer simulation in the context of the training activities of these future teachers, in order to enable greater experience with these technologies of information and communication, in order to insert the same in physics teaching. At the same time, recent research, point to integration of these technologies in the experimental activities. In this work we investigate this possible integration in high school classes, in particular, in the articulation between conventional and computational teaching laboratories. Its main goal is to analyze the meanings constructed by students on the conceptual part of physics, with regard to aspects of philosophical interpretation of quantum nature of light and also the experimental activity using the potential aspects of conventional laboratories and computer simulation. We start from the analysis the laboratories types and objectives in physics teaching. We arrived at the computational teaching laboratory showing the potentialities and limitations of its use alone and we present arguments in favor of its relationship with the conventional didactic laboratory in a perspective of complementarity. This approach aims to overcome the limitations and harness the power of each laboratory showing a broader context of the spectrum of experimental activities for physics classes. To investigate our problem, we choose to analyze didactic sequences in laboratory classes about the nature of light with high school students. Empirical data were produced from footage of conventional and computational lab classes about the Mach-Zehnder's interferometer at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia in high school classes. The selected episodes were analyzed through the discursive textual analysis. From the results we interpret that students engaged in research construct meanings about the duality of light and computational and conventional labs. This work integrates the doctoral thesis on the complementarity of conventional laboratories and computer simulations in physics teaching. Finally, we point out the future prospects for the thesis.

Keywords: Teaching Physics, Physics Laboratory, Laboratory for Computer Simulation Laboratory Conventional.

Sumário

1.0 Introdução	13
2.0 As TIC no ensino de física	20
2.1 Pesquisas sobre as TIC no ensino de física.....	26
3.0 A Complementaridade dos laboratórios no ensino.....	39
3.1 Laboratórios no ensino de física	39
3.1.1 Laboratórios computacional e convencional	47
3.2 Pressupostos teóricos para a complementaridade.....	55
3.3 A complementaridade dos laboratórios.....	63
3.4 A física quântica no ensino médio e a dualidade da luz.	70
3.4.1 A dualidade da luz no IMZ.....	74
3.4.2 A simulação computacional do IMZ.....	77
4.0 Metodologia da Pesquisa.....	82
4.1 Sujeitos da pesquisa.....	91
5.0 Investigando a complementaridade dos laboratórios	93
5.1 Laboratório didático de simulação computacional do IMZ	94
5.1.1 Sequência didática da simulação do IMZ	94
5.1.2 Significados construídos no IMZ computacional.....	95
5.1.3 A natureza da luz no IMZ computacional.....	100
5.1.4 Potencial interativo do IMZ computacional.....	103
5.2 Laboratório didático convencional do IMZ	104
5.2.1 Sequência didática da IMZ convencional	107
5.2.2 Os significados sobre o IMZ convencional	109
5.2.3 A natureza da luz no IMZ convencional	112
6.0 Considerações finais	123
7.0 Referências	128
8.0 Apêndices e Anexos	134

Índice de Figuras

Figura 1 - Pensamento e Linguagem.....	56
Figura 2 - IMZ no Laboratório Convencional.....	76
Figura 3 Esquema do IMZ.....	76
Figura 4 - Bancada de Simulação do IMZ	79
Figura 5 - Detectores de fótons únicos	80
Figura 6 - Filtros polarizadores.....	80
Figura 7 - Padrão de interferência ondulatório	81
Figura 8 - Padrão de interferência monofotônico	81
Figura 9 - Ciclo da Análise Textual Discursiva	85
Figura 10 - Planilha de Fichamento.....	89
Figura 11 - Planilha Discursos das Filmagens	90
Figura 12 - Interação entre dois estudantes mediados pelo programa	103
Figura 13 - Interação entre três estudantes mediados pelo programa.....	103
Figura 14 - Fenômeno de difração circular.....	104
Figura 15 - IMZ Didático	106
Figura 16 - Desenho Esquemático 1	110
Figura 17 - Desenho Esquemático 2	111
Figura 18 – Desenho do esquema completo do IMZ.....	112
Figura 19 - Padrão de Interferência 1	113
Figura 20 - Padrão de Interferência 2	114
Figura 21 - Padrão de Interferência 3.	114
Figura 23 - Experimento da Dupla Fenda (PESSOA JR., 1997, p.28).....	115
Figura 22 - Padrão de Interferência da Dupla Fenda (Dr. Quântico).....	115
Figura 24 - Reprodução do IMZ didático (vista frontal)	138
Figura 25 - Reprodução do IMZ didático (vista superior).....	138

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Artigos Analisados da RBEF	31
Tabela 2 - Linguagens de Programação	35
Tabela 3 - Níveis de Ensino	37

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Conteúdos Curriculares	37
--	----

Lista de Abreviaturas e Siglas

AC	Análise de Conteúdo
AD	Análise do Discurso
ATD	Análise Textual Discursiva
IFBA	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia
IMZ	Interferômetro de Mach-Zehnder
FQ	Física Quântica
FMC	Física Moderna e Contemporânea
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
ZPD	Zona de Desenvolvimento Proximal



1.0 Introdução

A utilização de atividades experimentais em laboratórios didáticos no ensino de Física tem sido objeto de investigação de diversos estudiosos tais como, Carvalho et al (2010), Gil-Pérez et al (2006), Borges (2004), Alves Filho (2002), Hodson (1994), entre outros. As pesquisas têm enfoques e objetivos diferenciados, mas todas apresentam uma premissa comum, a importância da atividade experimental como forma de melhorar a qualidade da transposição didática dos conceitos científicos.

Segundo Carvalho et al (2010) embora existam várias diretrizes no século XXI que influenciam as atividades de laboratórios, a principal delas, é que o ensino de física deve ser para todos e não apenas para aqueles com aptidão para a área específica, haja vista que a sociedade contemporânea está cada vez mais imersa em questões científicas e tecnológicas que influenciam a todos e não apenas um grupo específico de cientistas.

Entretanto, será que podemos afirmar que os resultados das pesquisas no ensino de física sobre as atividades experimentais estão chegando às escolas de ensino médio? E com o atual desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação (TIC) como elas influenciam essas atividades? E de que forma as TIC podem modificar as atividades didáticas experimentais?



Recentemente, com a presença das TIC na educação, as pesquisas (DORNELES, ARAÚJO E VEIT, 2012; HEIDEMANN et al, 2010; HOHENFELD & PENIDO, 2009; JAAKKOLA & NURMI, 2008; ZACARIAS, 2007) apontam a utilização das simulações computacionais como importantes aliadas nas atividades experimentais. Essas tecnologias chegam para substituir as tecnologias anteriores ou podem ser articuladas com as mesmas? E se articuladas em qual (is) perspectiva(s)?

A articulação é citada para situações muito custosas, perigosas ou que demandam muito tempo para uma aula, ou mesmo quando há necessidade de um espaço específico com número reduzido de participantes. Outro argumento importante é a possibilidade de visualização de aspectos que não são facilmente visíveis na experimentação convencional. Entretanto, existem autores como Medeiros e Medeiros (2002) que apontam limitações dessas simulações no ensino, de tal forma que o debate para a sua inserção requer reflexão sobre suas potencialidades e limitações.

Neste sentido discutimos a atividade experimental no ensino de física partindo das referidas potencialidades e limitações da utilização do laboratório de simulação computacional e apresentamos argumentações no sentido de mostrar a importância da articulação entre os dois laboratórios numa perspectiva de complementaridade.

Nossa investigação tem como objetivo principal analisar os significados e interpretações dos estudantes do ensino médio sobre a articulação entre os laboratórios didáticos convencionais e de simulações computacionais em



experimentos sobre a natureza quântica da luz como introdução a física quântica (FQ).

Nessa pesquisa temos como referência a teoria sócio histórica de Vygotsky como aporte da prática das atividades de ensino, e ao mesmo tempo integrante do nosso referencial teórico de investigação. Ressaltamos a ênfase da teoria na formação de conceitos e troca de signo como objeto da experiência coletiva dos sujeitos mediados pela linguagem humana, principal instrumento de mediação verbal. Esta se constitui em um sistema simbólico fundamental, resultando no desenvolvimento humano caracterizado pela habilidade de adquirir ferramentas psíquicas (HEDEGAARD in HARRY, 1996). A articulação dos laboratórios possivelmente influencia a mediação dos sujeitos com o meio e de todos os seus aparatos com o comportamento e ação do indivíduo, sendo necessária uma reflexão sobre os processos de ensino e aprendizagem que podem ser mediados por estas ferramentas tecnológicas.

Portanto, identificamos uma ressonância entre a teoria de Vygotsky e o nosso problema de pesquisa que está expresso na seguinte questão:

Como articular os laboratórios convencionais e computacionais no ensino de física no nível médio de forma a contribuir para a formação de significados por parte de estudantes sobre a natureza quântica da luz?



Perguntas de pesquisa:

- ✓ *Quais as contribuições e influências da articulação dos laboratórios convencionais e computacionais para o ensino de física?*
- ✓ *Quais os aspectos relevantes na articulação dos laboratórios convencionais aos de simulação computacional para o ensino de física?*
- ✓ *Como os pressupostos da teoria de Vygotsky podem fundamentar a prática pedagógica dos laboratórios convencionais articulados com os de simulação computacional?*
- ✓ *Experimentos computacionais – Quais os programas de simulação ou linguagens computacionais que podem ser usados para esse fim?*
- ✓ *Qual(is) o(s) experimento(s) sobre a natureza da luz propicia(m) a articulação dos laboratórios convencionais e computacionais?*

Objetivo Geral:

- ✓ *Analizar os significados construídos pelos estudantes sobre a parte conceitual da física, no que diz respeito a aspectos da interpretação filosófica da natureza quântica da luz e também da atividade experimental utilizando os aspectos potenciais dos laboratórios convencionais e de simulação computacional.*



Objetivos específicos:

- ✓ *Identificar as contribuições da articulação do laboratório convencional e de simulação computacional para o ensino de física.*
- ✓ *Analizar aspectos relevantes da articulação dos laboratórios convencionais e de simulação computacional numa perspectiva de complementaridade.*
- ✓ *Integrar os laboratórios convencionais e de simulação computacional de acordo com os pressupostos da teoria sócio histórica de Vygotsky.*
- ✓ *Introduzir conceitos de FQ no ensino médio a partir da articulação dos laboratórios convencionais e de simulação computacional.*

Para investigar nosso problema de pesquisa optamos por analisar uma sequência didática sobre a natureza da luz direcionada a estudantes do ensino médio integrado ao técnico do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), como forma de introdução da FQ, conforme defende Pessoa Jr. (1997) ao considerar a dualidade da luz como a principal essência da FQ. Os dados empíricos foram produzidos através da filmagem das aulas de laboratório de três turmas do terceiro ano dos cursos de eletrotécnica e informática do Campus de Camaçari e análise química do Campus de Salvador. Numa segunda etapa formou-se um pequeno grupo de estudantes das turmas de Camaçari. A partir da filmagem das aulas de laboratório, selecionamos episódios das aulas, que foram analisados de acordo com a metodologia da análise textual discursiva (ATD) proposta por Moraes e Galiazzzi (2011).



Este trabalho foi organizado em seis capítulos, em seguida as referências, e por fim os apêndices e anexos. Neste capítulo fizemos a introdução e apresentação do tema de pesquisa, bem como, o problema de investigação seus objetivos e as principais perguntas de pesquisa. A seguir temos a descrição dos outros capítulos que compõe a tese.

No capítulo dois inicia-se a fundamentação teórica com a discussão sobre as TIC no ensino de física e uma pesquisa da sua inserção neste contexto, com objetivo de identificar propostas de laboratório de simulação computacional para a introdução de FQ no ensino médio.

Continuamos a fundamentação teórica no capítulo três, agora voltado para a construção dos pressupostos pedagógicos da complementaridade dos laboratórios. Nele mostramos as diversas abordagens e tipos de laboratório de ensino. Depois seguimos com a discussão mais específica sobre a teoria de Vygotsky e chegamos à dualidade da luz no experimento do interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ).

No quarto capítulo, definimos o paradigma de pesquisa, mostramos a metodologia e os instrumentos de análises, bem como os sujeitos envolvidos neste trabalho.

Apresentamos no capítulo cinco, a investigação empírica com estudantes do ensino médio nos laboratórios didáticos de simulação computacional e convencional do IMZ como forma de introdução da FQ neste nível.



As considerações finais são apresentadas no capítulo seis. Nele temos uma reflexão a título de conclusão mostrando as contribuições e limitações ocorridas na mesma. E apontamos as perspectivas futuras da tese para superar os desafios mostrados nesta etapa.

E por fim são apresentados as referências, os apêndices e anexos.

Desde já agradeço as valiosas contribuições e espero que tenham uma boa leitura.



2.0 As TIC no Ensino de Física

As atuais tecnologias de comunicação provocam, dentre outras modificações, o processo de transformação dos átomos em bits. Essa mudança instaura uma dinâmica cultural típica dessa contemporaneidade. Intensificada pelo desenvolvimento constante de máquinas comunicativas; ferramentas culturais que possibilitam armazenar, manipular, processar, e comunicar a informação. As potencialidades das TIC estão agregadas na percepção de serem vistas como tecnologias inteligentes. Os softwares são em certa medida a essência dessas máquinas. Sem essa produção cultural os hardwares perdem potencialidade, são apenas máquinas sem utilidade, ou melhor, lixo digital. Tais produtos emergem da necessidade das diversas relações sociais, dentre elas as de natureza econômica, educativa, afetiva e psicológica.

Nesta pesquisa é importante fazer o *link* das possíveis modificações na educação com a inserção das TIC e o ensino de física. Percebemos que essas transformações podem ser estruturantes na superação da perspectiva consumidora de informações, por meio da produção de conhecimento numa perspectiva mais colaborativa e participativa. Elas são capazes de superar a simples dimensão do domínio de habilidades e técnicas para resoluções de problemas localizados e imediatistas, para outra onde os sujeitos se apropriam dessas tecnologias inteligentes de forma autônoma e ao mesmo tempo



coletiva, possibilitando reflexões críticas sobre suas ações e seu contexto social.

Logo, as TIC são potencialmente estruturantes de uma educação que pode tornar os estudantes cidadãos mais conscientes, autônomos, ativos e participativos da sociedade contemporânea. A potencialidade modificadora depende da percepção crítica da atualidade e de uma ação transformadora a ser realizada e que depende obviamente da forma como as TIC instauram-se na educação. Assim, afirmamos que a simples inserção das TIC não garante por si essas transformações. São necessárias mudanças significativas no processo de ensino, para que tais objetivos sejam alcançados. Caso contrário apenas iremos reforçar velhas práticas educativas usando as TIC como ferramentas instrumentais mais modernas.

Baumann (2001) faz uma analogia da educação consumidora de informação como um shopping, que não são espaços de interação e sim templos de ação de consumo. Nesse aspecto, configuram-se como espaços individualistas na sua essência. Os encontros são superficiais, como afirma Baumann (2001). Em contrapartida, a escola é, ou pelo menos deveria ser potencialmente um lugar de interações, para troca de significados e experiências. Isso porque seus encontros são mais duradouros em dias, anos ou, até mesmo por toda vida, mantendo relações interativas entre os sujeitos, resultando na formação cidadã dos mesmos. Portanto, é um espaço social coletivo de construções, em que potencialmente instaura-se o ensino e aprendizagem de física de forma efetiva, com vista a contribuir na formação



científica necessária para o cidadão, contemplando as características apontadas anteriormente.

No entanto, há escolas que procuram ser como shopping, nesse sentido são espaços de imitação dos templos de consumo, não sendo verdadeiros na interação social de seus elementos. O consumo passa a ser neste caso a informação pronta e acabada visando no final de certo período acumular bens que possibilitem à aquisição da certificação que opera como passaporte para o mundo do trabalho. Essa concepção tem desdobramentos num ensino de física verticalizado, com ênfase no acúmulo de informações e domínio de técnicas na resolução de problemas, em geral propostos em livros e manuais de pouco valor para a formação do sujeito, com vistas apenas para uma educação bancária, conforme preconiza Paulo Freire (1987).

Neste sentido temos como desafio tornar a escola, e mais especificamente as aulas de física, um espaço verdadeiramente interativo e colaborativo para que os estudantes sejam produtores e consumidores do conhecimento, ou seja, coautores do processo de formação. Essa possibilidade pode estruturar-se com as atuais tecnologias de comunicação que potencializam a interatividade, devido a sua ênfase na conectividade e na velocidade de troca e manipulação de informações entre os sujeitos e a convergência com outras tecnologias. Nessa perspectiva como devemos resignificar as aulas de física? Em particular dos laboratórios didáticos experimentais? A presença das TIC num sentido transformador a partir das potencialidades dessas tecnologias? Ou temos sua incorporação como ferramenta didática do modelo atual que favorece as “velhas práticas”



educativas? Neste caso, justifica-se a importância das investigações sobre práticas com as TIC de forma a não subutilizá-las pela desatenção às suas potencialidades para além da transmissão separada da emissão.

A possibilidade de superação do espaço-tempo favorece a interação para a produção de conhecimento e não apenas consumo da informação. Avança-se assim, inclusive sobre aspectos relacionados com a compreensão da natureza da ciência.

Por fim, esse cenário contemporâneo de comunicação tem elementos de hipertextualidade, virtualização, simulação, convergência, mobilidade, desterritorialização, velocidade e colaboração com a Web 2.0. Quando inseridas no ensino de física de forma transformadora, podem dinamizar a interação social e a mediação pouco experimentada de forma consistente neste contexto. A ponto de Giordan (2008, p. 107) afirmar:

É nesse sentido que reafirmamos a necessidade de se estudar criteriosamente a transposição das práticas da cultura informática para a sala de aula, ou seja, sem desvincular o conteúdo e as formas de pensamento do planejamento de ensino que considere prioritariamente as formas de interação social que ali se estabelecem.

Neste capítulo buscamos aproximar o ensino de física das discussões sobre aspectos relacionados com as TIC que em geral são mais discutidos na educação. Entretanto, essas relações aparecem ainda de forma tímida nas pesquisas sobre ensino de física.

Dentro dessas discussões é comum o posicionamento antagônico entre real e virtual. Em geral, nas diversas atividades sociais, inclusive na educação, é frequente o uso de "virtual" na designação de sistema de



colaboração em rede, tais como "ambientes virtuais de aprendizagem", "objetos virtuais de ensino", "simulação virtual" dentre outros. No ensino de física o termo é muito usado para designar "Laboratórios Virtuais", compostos por sistemas de simulação computacional que visam à reprodução do fenômeno "real" tridimensional em tempo real, em ambientes estruturados com as TIC. As mídias de informática ajudaram a disseminar e popularizar a "virtualidade" de forma consumista, porque é uma palavra que sempre chamou e chama a atenção pelo poder de marketing, pois está ligada ao modismo e consumismo tecnológico. No entanto o uso comum da palavra virtual, em geral, fica limitado em detrimento do seu potencial filosófico, o que é discutido, por exemplo, por autores como Lévy (1996), Bonilla (2005), Lemos (1999). E nessa discussão Pellanda afirma que:

Desde o começo da internet comercial é senso comum que o espaço virtual é um oposto do real, físico ou atual (LÉVY, 1996) e eles não possuem uma conexão perceptível. O espaço atual é onde estão os tijolos, o concreto e toda a matéria baseada em átomos. É o lugar em que se percebem sensações na epiderme e se pode tocar nos objetos. Na aparente oposição, o espaço virtual é somente conectado com a informação que não é tangível. Nosso corpo é usualmente imaginado estar conectado ao real e atual e nossas mensagens interconectadas no virtual. (PELLANDA in LEMOS e JOSGRILBERG 2009, p.12)

Portanto, evitamos o termo laboratório "real" como oposição ao "virtual", entendendo que ambos são aspectos diferenciados das formas de interatividade entre os sujeitos e entre eles e os acontecimentos. Utilizamos então o termo "laboratório de simulação computacional", que exprime o processo de mutação e representação dos fenômenos pela transformação da informação para o byte digital e o "laboratório convencional" para as realizações mais tipicamente limitadas pelos aspectos físicos locais e materiais



de base atômica. Em resumo, nesse trabalho, denominamos **laboratório convencional** os ambientes tradicionalmente, ligados às interações físicas localizadas no tempo e espaço definidos com base nos átomos, e **laboratório de simulação computacional** para as interações estruturadas pelas tecnologias digitais, mais especificamente por simulações computacionais baseados na transformação e circulação dos bits.



2.1 *Pesquisas sobre as TIC no ensino de física.*

Em estudo realizado sobre as aplicações das TIC no ensino, Rosa (1995) faz um vasto levantamento de 182 artigos publicados entre 1979 e 1992 em revistas relacionadas ao ensino de física, buscando categorizá-los segundo o tipo de aplicação. Neste trabalho Rosa (1995) verificou que a grande parte trata do uso de simuladores computacionais aplicados ao ensino de física (59 artigos), seguida pelo uso do computador como ferramenta de coleta de dados (40 artigos), somados a esses, 27 trabalhos versam sobre a análise de dados em tempo real. As três categorias possuem em comum o uso dos computadores em um laboratório didático, com destaque para os simuladores computacionais. Juntas, tais aplicações representam, aproximadamente, 70% dos trabalhos publicados.

Como forma de inserção das TIC, as simulações computacionais aplicadas ao ensino de física continuam sendo foco de intensa investigação. Magalhães et al (2002), por exemplo, realizam uma análise quantitativa do movimento real de um objeto através do tratamento de sua imagem capturada no computador. Em outro estudo, é investigado o uso de um simulador computacional utilizado como laboratório básico de física nuclear (DIAS et al, 2002).

Estudos com softwares feitos em linguagem Java apontam algumas das vantagens que a modelagem computacional traz às atividades de ensino (FIGUEIRA, 2005). Uma característica marcante destes recursos é o seu apelo visual. Wolfgram (1994) aponta que cerca de 70% das pessoas aprendem melhor aquilo que veem, e que apenas 30% preferem outro meio. Além disso, o



aprendizado aumenta quando os aprendizes podem interagir com aquilo que estão aprendendo. Sendo assim, inferimos que as novas gerações de estudantes criados em um ambiente onde a imagem é parte fundamental de seus cotidianos, sentem-se muito mais confortáveis quando algum tipo de estímulo visual é utilizado para a socialização de qualquer tipo de informação. Neste sentido, as simulações computacionais configuram-se como instrumento interessante para facilitar o processo de aprendizagem. Figueira (2005) cita alguns dos benefícios das animações no computador, dentre elas destacamos três:

- 1) Possibilidade de visualização gráfica de elementos sutis e imperceptíveis, presentes no modelo teórico, para o nosso aparelho sensorial.
- 2) Nos sistemas interativos os estudantes têm participação ativa nas respostas e decisões solicitadas, fazendo com que o mesmo construa seu próprio conhecimento sobre o fenômeno estudado.
- 3) Contribuem na interpretação de modelos físicos: ao utilizar laboratórios de simulação computacional para testar hipóteses, obtendo previsões sobre esses sistemas, neste caso o estudante é capaz de refletir sobre diferentes modelos teóricos.

Coelho (2002) defende que as simulações aparecem como o uso mais comum no ensino de física, pela possibilidade de conexão entre o estudo do fenômeno de maneira teórica em sala de aula e os experimentos em um laboratório virtual, pois permitem que os resultados sejam vistos com clareza, repetidas vezes, com um grande número de variáveis envolvidas.



Esse mesmo autor destaca ainda que as simulações podem se subdividir em dois grupos: as estáticas e as dinâmicas. Nas simulações estáticas, o estudante tem pouco ou nenhum controle sobre os parâmetros da simulação. Nas dinâmicas, estes parâmetros podem ser modificados com um grau de liberdade bem maior, de modo que o estudante possa verificar as implicações de cada variável no resultado do fenômeno estudado, tendo assim mais autonomia, tanto com o professor presente quanto sozinho ou em grupo.

Nessa linha de pensamento, as simulações no computador oferecem um grande potencial, pois facilitam aos estudantes a compreensão dos princípios teóricos das ciências naturais a ponto de serem chamados de laboratórios virtuais (DAVIES, 2002). Tal ferramenta pedagógica aumenta a percepção dos alunos, pois consegue reunir em um só instrumento várias mídias: escrita, visual e sonora.

O uso dos simuladores computacionais como recurso de demonstração da teoria trabalhada em sala de aula, ainda é muito pequeno e pode ser intensificado com a inserção e o desenvolvimento de laboratórios de demonstração baseados em simulações. Entretanto, Barbata (1996) defende que além do seu uso direto em sala de aula, a criação de um laboratório de demonstrações possibilita ao aprendiz o acesso futuro do material trabalhado durante as aulas. Assim os estudantes podem, a princípio, utilizar estas simulações como um complemento daquilo que foi discutido em aula, podendo o material ser acessado no instante em que estiverem revendo o assunto.



A modelagem computacional pode ser usada em atividades mais inovadoras em oposição ao ensino tradicional, que frequentemente é centrado em problemas de aplicação mecânica com ênfase nas fórmulas matemáticas, sem as devidas reflexões conceituais. Com a modelagem podemos estruturar um ensino investigativo, ao provocar que os estudantes observem, meçam, explorem, controlem variáveis, construam modelos, analisem o significado e as limitações dos modelos (TEODORO, 2003). Essas atividades de modelagem reaproxima o ensino de física de sua principal linguagem, a matemática. A reaproximação é feita de forma a suportar processos de pensamento centrados no significado das coisas em detrimento de cálculos repetidos (TEODORO, 2003).

Embora existam algumas experiências com a modelagem computacional, ainda há uma carência muito grande de bons programas de simulações computacionais e de metodologias para sua utilização de forma inovadora. Isso porque seu uso pode se dar numa concepção tradicional, reforçando “velhas” práticas educativas. A investigação de metodologias de inserção na perspectiva transformadora é fundamental, uma vez que o desenvolvimento da tecnologia por si só não garante as mudanças desejadas, pois:

Para que um software promova realmente a aprendizagem deve estar integrado ao currículo e às atividades de sala de aula, estar relacionado àquilo que o aluno já sabe e ser bem explorado pelo professor. O computador não atua diretamente sobre os processos de aprendizagem, mas apenas fornece ao aluno um ambiente simbólico onde este pode raciocinar, elaborar conceitos e estruturas mentais, derivando novas descobertas daquilo que já sabia. (BONILLA, 1995, p. 68)



Então, o software por si só não é capaz de promover inovações, apenas são estruturantes e devem ser inseridos num ambiente metodológico articulado com suas potencialidades.

Neste sentido, investigamos artigos sobre objetos computacionais no ensino de física, fazendo uma análise dos trabalhos publicados em revistas dedicadas ao ensino de física dentre elas, a Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) de 2001 a 2011, que discutem objetos computacionais no ensino de física. Essa investigação teve como objetivo identificar tipos de abordagem, estrutura técnica e os aspectos didáticos e temas conceituais das áreas de física, em especial aqueles relacionados com a natureza da luz.

Nossa análise dos objetos computacionais apresenta-se em três aspectos; (1) tipo de abordagem interativa, (2) sua estrutura técnica e (3) em seus aspectos didáticos.

(1) Na abordagem interativa identificamos as tecnologias de informação e comunicação que estruturam as atividades propostas para que potencializem a interatividade no processo de ensino de física com os estudantes. Nessa análise buscamos a interseção das estruturas tecnológicas de comunicação com o ensino de física. O objetivo foi identificar se existe uma proposta interativa mais predominante em termos de simulações, modelagem, hipermídia e tutorial, dentre outras. Na Tabela 1 apresentamos os artigos analisados, com suas respectivas caracterizações, do ponto de vista da abordagem de interação.

**Tabela 1 - Artigos Analisados da RBEF**

Artigos: Ref.¹	MD	AI	LC	HM
Yamamoto, Barbeta_rbef(vol23n2)		1		
Magalhães et al_rbef(vol24n2)		1		
Camiletti, Ferracioli_rbef(vol24n2)	1			
Silva et al_rbef(vol24n2)				1
Dias, Pinheiro, Barroso_rbef(vol24n2)			1	
Araujo, Veit, Moreiral_rbef(vol26n4)	1			
Figueira_rbef(vol27n4)	1			
Machado, Nardil_rbef(vol28n4)				1
Gomes e Ferracioli_rbef(vol28n4)	1			
Dorneles, Araujo, Veit_rbef(vol28n4)	1			
Meirelles, Carvalho_rbef(vol29n2)	1			
Junior Xavier_rbef(vol29n2)	1			
Ricci, Ostermann, Prado_rbef(vol29n1)			1	
Veit, Dorneles, Araujo_rbef(vol30n3)	1			
Werlang, Schneider_rbef(vol30n1)				1
Betz, Lima, Mussato_rbef(vol31n3)			1	
Aguiar_rbef(vol31n3)		1		
Carlin et al_rbef(vol31n2)			1	
Soares, Borges_rbef(vol32n2)			1	
Barroso, Borgo_rbef(vol32n2)		1		
Silva, Germano, Mariano_rbef(vol33n1)	1			
Souza et al_rbef(vol33n1)			1	
Viscovini, Lopes, Pereira_rbef(vol33n1)			1	
Neto, Ostermann, Prado_rbef(vol33n1)			1	
Quantidade de artigos	9	4	8	3
(%)	38	17	33	12

Legenda:

MD – Modelagem; AI – Animação Interativa; LC – Laboratório de Simulação Computacional; HM - Hipermídia.

Nessa análise percebemos a predominância da modelagem computacional, com 37 % dos artigos estudados. Esta proposta consiste em levar o estudante a construir um modelo sobre o problema em estudo e, em seguida, representá-lo no computador através de um ambiente de modelagem computacional adequado. Uma vez representado o modelo no ambiente de modelagem, este pode ser simulado, gerando a possibilidade de ampliação do estudo do

¹ Ver referência completa no apêndice e anexos.



problema analisado, modelando o ambiente computacional a partir de ferramentas encontradas neste sistema, que apresenta em geral interface iconográfica que permite aos estudantes manipular uma linguagem de computação estruturada sem, no entanto ter o domínio técnico da mesma.

Na animação interativa temos um percentual de 17%. Neste caso, a interação com o programa, permite apenas mudar os “valores” das grandezas envolvidas, numa relação de causa e efeito, sem modificar seu formato original do ponto de vista do modelo teórico adotado no programa. Investigamos também a animação não interativa, aquela em que o sujeito não interfere no programa, mas apenas visualiza imagens em ação de um fenômeno físico. Neste estudo não identificamos propostas desse tipo.

Há também o tutorial de ensino que consiste de ferramentas que auxiliam o ensino e aprendizagem com á exposição “passo a passo” de conteúdos de física, num sistema com diversos recursos multimídia que buscam uma melhor compreensão do fenômeno estudado. Nesses sistemas normalmente existe um *feedback*, que relaciona o conhecimento supostamente aprendido pelo estudante, com um passo a passo avaliativo. Nos artigos analisados também não encontramos essa proposta.

A seguir, temos o laboratório de simulação computacional, propostas em 33% dos artigos. Neste tipo de abordagem é feita a representação de um laboratório convencional no ambiente computacional em que procedem as investigações, utilizando simulações computacionais que permitem a visualização da interface gráfica, bem como a interação com os objetos



simulados, como no laboratório físico. Nesta categoria encontram-se uma proposta de discussão da dualidade da luz com uma bancada de simulação do interferômetro de Mach-Zehnder.

Encontramos também propostas com hipermídia (13%), onde são feitas interação com vídeos, imagens, simulações e sons, dentre outros, no programa que proporciona um relacionamento com o tema a ser estudado.

Comparando nossos resultados com os de Rosa (1995), percebemos que nos artigos, as simulações computacionais permanecem como aplicação mais presente nas propostas de inserção do computador no ensino de física. Tendo nas abordagens de modelagem e laboratório de simulação computacional juntas representando 71% que diferem dos resultados de Rosa (1995) que encontrou 70% relacionados com simulação computacional, coleta de dados e análise de dados. Ou seja, houve uma intensificação dos artigos com uso de simulação computacional uma vez que mesmo os de modelagem apresentam essa característica de simular um sistema ou situação física.

(2) Na categorização estrutura técnica apresentamos os aspectos relacionados à computação. Como tipo de linguagem de programação utilizada, se o código é aberto ou fechado, ou seja, se é possível fazer modificações no programa e se está disponível eletronicamente.

No aspecto da linguagem de programação identificamos a estrutura de linguagem em que o programa foi desenvolvido para avaliar a possibilidade de intervenção no mesmo. Giordan (2008) afirma que o uso da programação facilita no desenvolvimento das habilidades cognitivas dos estudantes. Porém,



exige como pré-requisito o domínio da sintaxe da linguagem para que o estudante avance na resolução de problemas.

Nas análises, são encontradas diversas linguagens de programação, dentre elas: Java, C++ e HTML. Na Tabela 2, temos a síntese das linguagens identificadas nos artigos.

**Tabela 2 - Linguagens de Programação**

	JAVA	C++	HTML	Outras
Quantidade	6	5	1	12
%	25	21	4	50

Nela observamos que apenas um artigo apresenta exclusivamente a linguagem HTML, voltada à construção de sites, com a finalidade básica de formatar textos ou imagens e criar ligações entre diferentes documentos na internet.

Encontramos 25% dos artigos que utilizam Java como linguagem computacional. Esta é considerada adequada para o desenvolvimento de aplicações baseadas na rede internet e redes fechadas, dentre outras, oferecendo uma poderosa linguagem de programação de uso geral, com recursos suficientes para a construção de uma variedade de aplicativos que podem, ou não, depender do uso de recursos de conectividade. Nos artigos analisados é bastante utilizada em simulações. Segue a essa a linguagem C++ com presença de 21% nos artigos.

E por fim temos uma categoria “outras linguagens”, que são propostas que utilizam mais de uma linguagem de programação como, por exemplo, HTML mais Flash, ou Java mais HTML, com linguagem de banco de dados e outras mais.



No que diz respeito ao tipo de código aberto ou fechado, este consiste em poder manipular e alterar ou não o programa inicial, no código aberto tem-se acesso à estrutura lógica, tem-se uma visão ampla do código utilizado, indo além da simples interação com uma visão superficial da interface computacional. Neste aspecto encontramos a maioria dos artigos com programas de código fechado 58%, e para código aberto 42%. Há predominância em código de simulação fechado, portanto garantindo os direitos autorais em detrimento de uma construção colaborativa.

Encontramos nos artigos a predominância dos programas de acesso off-line com 83%, ou seja, que podem ser utilizados sem acesso à internet, apenas utilizando a instalação na máquina local. Isso facilita para aqueles que não possuem acesso à internet, podendo assim baixar e utilizá-lo em momentos posteriores, minimizando o problema de acesso. Porém não avança na superação deste problema.

Por outro lado, temos 17% dos programas on-line, onde a comunicação é mediada por computador com acesso à internet, fazendo a troca de informações por meio de pacotes onde estão padronizados. Isso facilita a diversos usuários em qualquer lugar utilizar os programas, desde que tenham acesso à rede mundial de computadores.

(3) Nos Aspectos Didáticos analisamos as propostas relacionadas aos níveis de ensino, aos conteúdos de física que serão abordados e se existe alguma teoria de aprendizagem como pressuposto pedagógico.



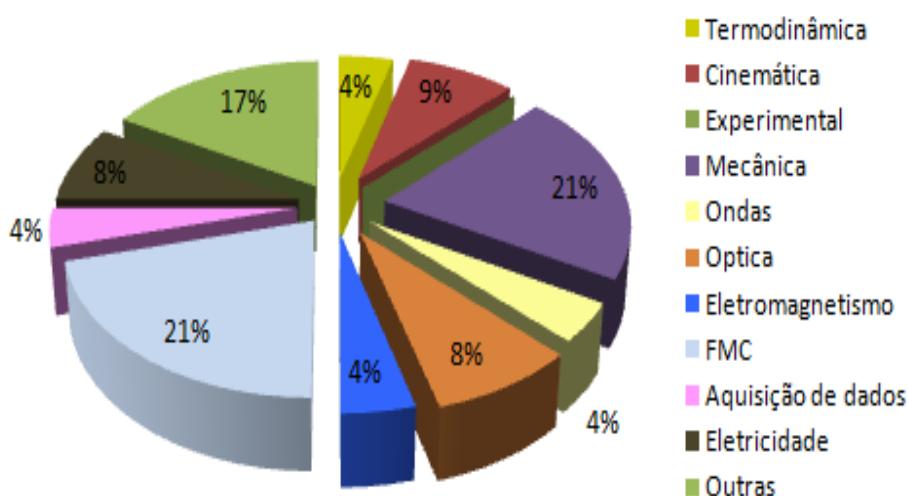
Os níveis de ensino que os artigos propõem são mostrados na Tabela 3, onde percebemos que a maior parte das propostas está voltada para o ensino médio, com 75% de incidência.

Tabela 3 - Níveis de Ensino

	Médio	Médio	Superior
Quantidade	18	1	5
%	75	4	21

Sobre os conteúdos curriculares de física abordados nos artigos, temos uma boa diversidade, desde a Mecânica Newtoniana até a Física Moderna e Contemporânea (FMC), conforme se observa no gráfico 1.

Gráfico 1– Conteúdos Curriculares



Nele notamos que a mecânica e a FMC são os conteúdos mais abordados nos artigos, ambos com 21%. Atribuímos esta proeminência ao uso de



modelagem computacional relacionando-se ao conteúdo tradicionalmente da mecânica, e as simulações computacionais da FMC como alternativas à dificuldade de implementação de atividades de laboratórios nas escolas.

As teorias de aprendizagem identificada nos artigos foram a aprendizagem significativa de Ausubel (13%) e a teoria sociointeracionista de Vygotsky (4%).

A grande maioria dos artigos (83%) não deixa explícitos os pressupostos teóricos da aprendizagem. Portanto, nestes artigos permanece a ausência de teorias de aprendizagem com pressuposto pedagógico das atividades que utilizam objetos computacionais.

E nesta breve investigação em artigos que discutem atividades estruturadas com a presença dos computadores no ensino de física, embora ainda incompleta, mostra potencialmente que a simulação computacional e a modelagem são as mais apresentadas e discutidas nos artigos. Destacam-se também as propostas para a discussão sobre fenômenos relacionados com a natureza da luz, utilizando as simulações computacionais, em especial o Interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ). Essa breve investigação aponta para o uso deste simulador computacional em nossas atividades de laboratório.



3.0 A Complementaridade dos Laboratórios no Ensino

Neste capítulo mostraremos os argumentos teóricos para a defesa das ideias da complementaridade dos laboratórios de simulações computacionais e os convencionais. Inicialmente mostraremos as diversas abordagens dos laboratórios didáticos e partiremos das potencialidades e limitações tanto dos laboratórios baseados em simulações quanto dos convencionais. Buscamos a complementaridade dos laboratórios na expectativa de superar as limitações e aproveitar as potencialidades de cada um, mostrando o contexto das atividades experimentais em laboratórios didáticos para as aulas de física. Utilizaremos os pressupostos da teoria de Vygotsky como base dessa articulação.

3.1 *Laboratórios no ensino de física.*

O papel que as atividades experimentais desempenham no ensino de física é objeto de pesquisa de diversos autores (CARVALHO et al 2010, GIL-PÈREZ et al 2006, BORGES 2004, ALVES FILHO 2002, HODSON 1994), que partem da premissa que tais atividades são fundamentais para o ensino de física. Nelas os estudantes interagem em pequenos grupos, com materiais para observar e entender os fenômenos naturais (CARVALHO et al 2010). Além disso, influenciam na formação e modificação das concepções sobre a natureza da ciência.

Compartilhamos desse ponto, uma vez que situações concretas fornecidas pelos experimentos possibilitam a contextualização e a



problematização do conteúdo, a ser desenvolvido na sala de aula, e ao mesmo tempo requisita a construção dos conceitos necessários na solução de possíveis problemas e observações, surgidos quando os estudantes são expostos à atividade experimental.

Na experimentação, temos um ambiente potencialmente favorável para que os modelos físicos sejam discutidos à luz de uma situação problema. Sendo assim, nestes casos a matemática pode ter um significado consistente na teoria estudada, ao fornecer uma referência tanto em nível de verificação quanto na previsibilidade dos fenômenos. O experimento tem também um importante papel na mediação, ou seja, de instrumento compartilhado entre os sujeitos participantes, em especial entre os estudantes, que motivados pelos dados e observações experimentais potencializam a interação entre eles, passando a utilizar mais intensamente a linguagem na troca e construção de significados sobre os fenômenos e conceitos estudados. Assim, a experimentação mostra-se como importante aliado na construção de conceitos por parte dos estudantes nos diversos níveis escolares. Tem potencial para possibilitar também uma maior aproximação dos estudantes com o “fazer científico”, podendo contribuir na compreensão da natureza da ciência.

Existem diversos tipos de classificação dos laboratórios didáticos no ensino de física. Pella (1969), Alves Filho (2002), Borges (2000), Carvalho et al (2010) fazem um resgate de algumas concepções, abordagens e enfoques, categorizando os laboratórios. Neste sentido podemos afirmar que:



Os planejamentos e a condução das aulas de laboratórios variam em um grande espectro: desde altamente estruturados e centrados nos guias, com objetivo principal de comprovar o que o aluno já aprendeu nas aulas teóricas, até um laboratório por investigação, quando o objetivo é introduzir os alunos na resolução de um problema experimental. (CARVALHO et al 2010, p.53)

Entretanto não podemos garantir que tais atividades estejam presentes no cotidiano escolar, embora haja certo consenso de suas contribuições para o ensino de física por partes das pesquisas como as de Carvalho et al (2010). A seguir apresentamos as principais ideias e argumentações desses autores.

Experiências de cátedra ou Laboratório de Demonstração - são aquelas realizadas pelo professor que manipula equipamentos e instrumentos de laboratórios didáticos para demonstrar fenômenos físicos. Portanto, o papel ativo é do professor, enquanto ao estudante cabe a atribuição de observação e reflexão. O objetivo da demonstração é ilustrar o corpo teórico trabalhado em sala para facilitar a compreensão, tornar o conteúdo agradável e interessante (ALVES FILHO, 2002).

Numa abordagem investigadora, procura-se mostrar a gênese de um problema a ser resolvido pelos estudantes. Sendo assim, pode ser denominado demonstração investigativa. Carvalho et al (2010) fazem um alerta sobre esse tipo de abordagem, afirmando que é necessário que o professor esteja atento para não cometer um erro epistemológico, ao confundir o fenômeno mostrado com a construção do conceito científico. Pois o fenômeno é um acontecimento da natureza enquanto o conceito não é diretamente visível, e sim uma abstração que explica o fenômeno observado (CARVALHO et al 2010). Como por exemplo, na termodinâmica, no momento da mudança de fase de uma substância como a água, observamos que a temperatura ficou constante. A



explicação dessa observação é que formaliza o conceito de calor latente como a energia necessária de uma determinada massa para que haja a mudança de fase. Sendo assim, nesse processo de transferência de energia não há modificação da energia cinética média das partículas e, portanto não observamos variação na temperatura da água no momento da mudança de fase. Então, o fenômeno e o conceito não podem ser confundidos.

Laboratório tradicional ou convencional - Consiste em atividades desenvolvidas em grupo onde os estudantes têm a atribuição de manipular os equipamentos e dispositivos experimentais. São atividades práticas, envolvendo observações e medidas, acerca de fenômenos previamente determinadas pelo professor. Geralmente a atividade é acompanhada por um texto-guia, altamente estruturado e organizado tipo “receita de bolo”, que serve de roteiro para o estudante, com ênfase na comprovação e verificação de uma lei ou teoria, com tempo pré-estabelecido. E nela os estudantes geralmente executam as tarefas para cozinhar os dados, conforme argumentam Carvalho et al (2010, p.55):

O que realmente os alunos aprendem em anos desse tipo de aulas de laboratório é como dividir tarefa entre os participantes do grupo de trabalho e como “cozinhar” dados para alcançar os resultados esperados e tirar boas notas.

São muito utilizado nas escolas, devido a sua grande aceitação no ensino tradicional, onde os resultados são mais importantes do que o processo. A divisão de trabalho acaba sendo a lição aprendida pelos estudantes na atividade experimental (CARVALHO et al, 2010), além de desenvolver habilidades de manuseio e técnicas instrumentais de laboratório.



Uma das consequências da ênfase na coleta de dados para comprovar e verificar leis e teorias é o reforço da perspectiva empírica-indutivista como única possibilidade epistemológica de produção de conhecimento científico. A utilização excessiva dessa concepção, nas aulas de laboratório no ensino de física, pode contribuir para a formação de uma visão não adequada da natureza da ciência (PEREZ et al, 2001), ao desconsiderar a pluralidade metodológica na atividade científica, ou seja, ela não contempla as diversas perspectivas, onde a empírica-indutiva é apenas uma delas.

Laboratório Investigativo – tem como base a investigação de problemas propostos, para que sejam resolvidos pelos estudantes em atividades experimentais. Não enfatiza a comprovação e verificação de leis ou teorias, possibilita ao estudante trabalhar com sistemas físicos reais, oportunizando a resolução de problemas cujas respostas não são pré-concebidas, cabendo ao estudante atuar de forma mais autônoma ao decidir quanto ao esquema e procedimento experimental a ser adotado (ALVES FILHO, 2002).

Este laboratório é composto por um problema desafiador, possível de ser resolvido pelos estudantes, articulando suas concepções espontâneas com o teste de hipóteses, mediadas por ferramentas culturais, desenvolvendo a capacidade de observação e descrição de fenômenos. Neste processo há a elaboração do pensamento verbal, formando assim conceitos e significados científicos, que são socialmente compartilhados através da linguagem e da mediação na resolução do problema investigativo. O professor ou mesmo um estudante mais experiente pode agir como mediador entre o grupo e a atividade. Carvalho et al (2010, p. 70) afirmam que:



Os laboratórios investigativos são também importantes para aprendizado das diferentes linguagens da física. Nessas atividades, quando os alunos manuseiam os materiais na busca de solução do problema, a linguagem oral e cotidiana vai sendo utilizada pelo grupo na procura das variáveis importantes na descrição do fenômeno. Essa linguagem oral vai se transformando em uma linguagem oral mais científica, quando o grupo se organiza para explicar à classe o modo de resolução do problema.

Nas explicações os estudantes recorrem a tabelas, gráficos e equações interagem e comunicam-se oralmente com argumentos empíricos e matemáticos resultando numa linguagem oral científica. Entretanto, esse processo não é fácil e necessita da interação construtiva entre professores e estudantes (CARVALHO et al, 2010).

Dessa forma, identificamos no laboratório investigativo pontos coerentes com os pressupostos da teoria sociocultural de Vygotsky, em especial papel atribuído às concepções espontâneas, a necessidade da resolução de um problema para formação de conceitos, a importância do professor na mediação e o papel da linguagem na interação social entre os sujeitos. Sendo assim, o laboratório investigativo possibilita a perspectiva da complementaridade dos laboratórios convencionais e computacionais.

Laboratório de Projetos - Nesse laboratório, a atividade tem ênfase na criação de projetos experimentais, normalmente realizados em disciplinas na segunda metade do curso de formação de futuros professores. Às vezes são também para estudantes de nível médio, por envolver uma aproximação de habilidades artesanais com os aspectos conceituais, utilizando materiais de fácil acesso, o que favorece sua aplicação independentemente da infraestrutura da escola.



Laboratório Biblioteca – experimentos de rápida execução e fácil manipulação, montados e disponíveis como uma biblioteca ou prateleiras de livros para acesso dos estudantes. Tipo *self-service* composta de equipamentos simples com roteiros estruturados e pouco flexíveis. Com atividades mais curtas e autoinstrutivas, dispensam a necessidade diretiva do professor para a execução do experimento.

Laboratório Virtual – ou de simulação computacional como denominamos, utilizam simulações computacionais, on-line ou off-line, que permitem a visualização de fenômenos através de uma interface gráfica com objetos manipuláveis, que possibilita interação e manipulação de variáveis envolvidas no fenômeno.

Segundo Borges (2004) os objetivos do laboratório didático para o ensino de física são: verificar e comprovar leis e teorias científicas (onde o produto é mais importante que o processo, a ênfase estão nos resultados prontos e acabados); ensinar o método científico; facilitar aprendizagem de conceitos; ensinar habilidades práticas; discutir modelos; testar hipóteses; investigar problemas.

Tomando como base os enfoques dos laboratórios didáticos de física e os objetivos propostos para o mesmo, consideramos que o laboratório tipo investigativo é o mais adequado para nossa investigação. Pois, consiste numa atividade de resolução de problemas que são mediados por ferramentas culturais com troca de significados a partir da linguagem verbal. Portanto, possibilita a formação de conceitos científicos. Nessa perspectiva, Borges (2004) mostra uma síntese comparativa de suas pesquisas, onde discute



aspectos das atividades experimentais tradicionais e o de investigação. Mostra que o laboratório tradicional com roteiro pré-definido tem um restrito grau de abertura, sendo que seu objetivo principal é comprovar leis, e que a atitude do estudante está relacionada ao compromisso de encontrar determinado resultado. Nas atividades investigativas temos um variado grau de abertura, dando liberdade no planejamento, visando explorar os fenômenos com compromisso na responsabilidade no processo de investigação.

Dessa forma as atividades investigativas transcendem a concepção empírica-indutivista, muito frequente no laboratório tradicional, que assume o conhecimento científico como derivado de observações neutras e cuidadosas de fenômenos, por uma mente livre de pré-concepções e sentimento que utiliza um método infalível de produção de conhecimento.

Quanto maior o grau de abertura da investigação maior será a possibilidade de articulação das ideias prévias dos estudantes com a observação empírica, formulando hipóteses. Isso aproxima, assim, os estudantes de um entendimento da natureza do trabalho científico, ao perceberem que as dimensões teóricas e empíricas fazem parte de um mesmo contexto, não podendo ser isoladas uma da outra. Por outro lado, não podemos considerar que esse tipo de atitude, embora importante para as diversas situações problemas oriundas de uma sociedade imersa na tecnologia, seja a própria atividade do cientista, pois devemos deixar claro que são atividades bastante distintas; o pesquisador geralmente tem um referencial teórico básico e consistente que direciona a um olhar típico do seu trabalho. Os estudantes se valem de suas concepções espontâneas como referência para a atividade



experimental. Não podemos acreditar que os estudantes sejam pequenos cientistas ao realizarem atividades experimentais investigativas, no entanto a atitude investigativa desenvolvida nessas atividades serve de base para o enfrentamento de situações, levando possivelmente à solução do problema e à formação de conceitos científicos.

Tais atividades requerem um maior grau de envolvimento e comprometimento com os objetos experimentais, na busca da solução do problema proposto, requisito fundamental para que sejam formados novos conceitos (VYGOTSKY, 2008) por parte dos sujeitos, tendo como objetivo principal explorar os fenômenos físicos. Isso contribui tanto para a formação dos conceitos científicos quanto para a percepção da ciência enquanto construção humana, desenvolvendo ainda o pensamento crítico e o senso de responsabilidade durante a investigação.

3.1.1 Laboratórios computacional e convencional

Dentre os diversos laboratórios citados, vamos categorizá-los em apenas dois tipos, o computacional e o convencional, pois as diversas abordagens podem ser feitas tanto em um quanto no outro.

Os laboratórios computacionais são baseados em simulações computacionais, estruturados em sistemas *on-line* disponíveis na internet ou mesmo em programas *off-line* em mídias de memória auxiliar. Elas transpõem o fenômeno natural para o computador, reproduzindo as leis físicas e para isso utilizam linguagens de programação tipo *C++*, *Java* ou *Flash* entre outras.



Segundo Giordan (2008, p.127) o programador tem três possibilidades de escolha das leis a serem codificadas:

Aquelas que interpretam os fenômenos a partir de representações algébricas derivadas de modelos teóricos stricto sensu, ou seja, sem a participação de medidas experimentais, as quais chamamos simulação por primeiro princípio. A segunda categoria de programação codifica leis que contêm parâmetros ajustados para reproduzir medidas experimentais, que denominamos semi-empíricas. Finalmente, o código de simulação pode se basear em leis puramente empíricas, ou seja, em representações algébricas derivadas das medidas experimentalmente observadas, que chamamos de simulação empírica.

As simulações têm origem no próprio saber produzido pelo trabalho científico, pois:

Cientistas de todas as disciplinas recorrem cada vez mais a simulações digitais para estudar fenômenos insensíveis à experiência (nascimento do universo, evolução biológica ou demográfica) ou simplesmente para avaliar de maneira menos custosa o interesse de novos modelos, mesmo quando a experimentação é possível. (LÉVY 1998, p. 122)

Como as atividades experimentais convencionais são feitas no ensino tendo como referência a importância da experimentação na ciência, a simulação computacional deve também estar presente nas atividades didáticas experimentais no processo de ensino de física, uma vez que as tecnologias digitais estão em todas as atividades da sociedade contemporânea.

Com a presença das tecnologias digitais nas escolas, as simulações computacionais estão mais frequentes nas aulas de física. Elas potencialmente são utilizadas como demonstração, cuja função pode ir além da simples ilustração visual do corpo teórico a ser trabalhado em sala. Possivelmente, facilita a compreensão e torna o conteúdo agradável e interessante, auxiliando o estudante a desenvolver habilidades básicas de observação e reflexão em ambientes estruturados com computadores. Além disso, princípios, leis naturais

e modelos teóricos, quando reproduzidos no computador, oferecem aos estudantes a possibilidade de intervenção nesses modelos. Com suas ações, os aprendizes ultrapassam a posição de meros espectadores, colocando-se no papel de construtores e testadores de hipóteses.

A repetição do fenômeno em menor tempo do que no laboratório convencional contribui para superar o tempo delimitado das aulas. A não localidade da experimentação possibilita a execução da mesma atividade em outro momento e local que transcendem o tempo e espaço pré-determinados da aula. Podem ser executados de maneira rápida, e disponível como numa biblioteca virtual tanto para professores quanto para os estudantes como, por exemplo, os objetos de aprendizagem disponíveis na internet pelo Banco Internacional de Objetos Educacionais².

O controle dos parâmetros, arranjos experimentais, ou mesmo variáveis do fenômeno simulado no computador permite que o estudante exercente a observação, buscando regularidades nos acontecimentos, servindo de referência para estabelecer premissas, fazer previsões, e explicar acontecimento a partir da visualização na tela do computador. Dessa forma, a simulação será utilizada com uma perspectiva de laboratório computacional.

² O Ministério da Educação em parceria com o Ministério da Ciência e Tecnologia desenvolveu um repositório de objetos educacionais de acesso público, em vários formatos e para todos os níveis de ensino, que são disponíveis no <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/> (Brasil, 2008).



Tais laboratórios possibilitam a modelagem de sistemas físicos naturais, onde os estudantes trabalham na resolução de problemas propostos pelo professor ou por eles mesmos e cujas respostas não são pré-concebidas.

Pesquisas deste tipo são discutidas por Veit (2005) e Vasconcelos (2003) entre outros, mostrando-se como uma atividade investigativa e interativa, principalmente na criação e teste de hipóteses que visam à solução do problema proposto sem, necessariamente, seguir uma rotina de procedimentos experimentais previamente estabelecidos.

Dessa forma a sala de aula aproxima-se da atividade científica, podendo contribuir na superação da visão empírica-indutivista como a única forma de produção de conhecimento e na suposta neutralidade científica ao permitir a subjetividade humana durante o processo de virtualização (LÉVY, 1998), desencadeando possíveis métodos e soluções criativas para o problema.

Medeiros & Medeiros (2002) fazem uma lista de pontos onde destacam as contribuições da utilização das simulações computacionais no ensino de física. Entre essas contribuições, eles destacam que as simulações diminuem o 'ruído' cognitivo, ou seja, dificuldades que são no primeiro momento obstáculos para a aprendizagem de elementos presentes no corpo teórico, ao concentrar os estudantes nos conceitos básicos envolvidos nos experimentos. Como exemplos de ruído têm-se o excesso de tratamento matemático e análises gráficas que em geral levam um grande tempo da atividade em relação à discussão dos conceitos e hipóteses. Enfim, com as simulações computacionais teremos mais tempo para discutir o trabalho experimental.



Assim, envolvemos os estudantes em tarefas interativas, que permitem gerar hipóteses e testá-las devido à rapidez na coleta e quantidade de dados experimentais, além de fornecer um *feedback* para aperfeiçoar a compreensão dos conceitos e reformulação de hipótese, ou seja, envolve os estudantes em atividades sobre a natureza da pesquisa científica.

Em algumas situações se faz necessário a simplificação de uma situação complexa para que se possa envolver o estudante na atividade. A simulação pode apresentar um modelo mais simplificado da realidade empírica, tornando os conceitos abstratos mais concretos, reduzindo a ambiguidade e auxiliando na identificação dos relacionamentos de causas e efeitos, assim sendo potencializando a interatividade com sistemas mais complexos. Então, a simulação pode ser utilizada como uma preparação inicial para ajudar na compreensão do papel do laboratório na formação de conceitos. Potencializa o desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas ao promover habilidades do raciocínio crítico, portanto, acentua a formação de conceitos e como consequências levam a uma maior possibilidade de compreensão e aprofundamento dos fenômenos físicos. Além do mais, auxiliam os estudantes a aprenderem sobre o mundo natural, vendo e interagindo com os modelos científicos construídos na simulação de situações que não poderiam ser inferidas através da observação direta, por questões práticas como tempo, risco, habilidade experimental, custo ou mesmo pela impossibilidade de acesso direto.

Porém, os mesmos autores Medeiros & Medeiros (2002) fazem críticas e apontam limitações na utilização das simulações computacionais no ensino,



pois o entusiasmo exagerado com o uso das simulações computacionais pode provocar o encantamento e euforia dos efeitos computacionais, além da facilidade de uso e a novidade da presença do computador nas aulas de física, no primeiro momento transparecendo uma modernidade tecnológica muito próxima do modismo. Nesse sentido, pode não contribuir efetivamente para a aprendizagem, servindo mais como elemento motivador do uso das tecnologias do que propriamente do interesse em aprender ciências. Se por um lado temos uma simplificação do sistema que permite a redução do ruído cognitivo e torna possível a simulação, por outro lado a perda da noção da complexidade de um sistema físico real acaba deformando a complexidade do real, e corre-se o risco da simulação ser entendida como a realidade do mundo cotidiano de fenômenos físicos. Nesse caso, a falta de discussão da validade dos modelos propostos e de seus contextos de aplicação possibilita ideias de generalistas que, sem as devidas reflexões sobre seus limites, podem tornar-se equívocos epistemológicos.

A tendência equivocada de substituir um experimento convencional por uma simulação computacional pode inclusive levar os estudantes a conceitos errados e deformações do ponto de vista epistemológico. Por fim, a falta de fundamentação em teorias de aprendizagem, tanto na elaboração dos programas de simulação quanto nas atividades desenvolvidas no ambiente escolar, constituem-se uma prática muito comum nas simulações computacionais, principalmente quando utilizadas na perspectiva de laboratório didático.



O laboratório convencional lida com instrumentos empíricos táticos, enquanto os de simulação computacional estão mais ligados no campo visual no ambiente da tela do computador, ambos fornecem signos que operam no cognitivo dos estudantes através do pensamento. Requerem habilidades distintas que estão presentes no nosso cotidiano, o clicar e o pegar são ações muito frequentes em nossas vidas e de forma alguma podemos pensar que elas são excludentes. Percebemos que ambos fazem parte do mundo contemporâneo logo não podem ser tratados numa perspectiva de substituição e sim de complementaridade.

Se por um lado diminuímos o ruído cognitivo ao utilizarmos as simulações computacionais em atividades experimentais quando apresentamos uma versão simplificada da realidade, mostrando apenas os elementos mais importantes dos conceitos teóricos e abstratos para os estudantes, por outro lado, a simulação que tem natureza mais simples, corre o risco de ser entendida como a realidade do mundo cotidiano de fenômenos físicos. Então, não se trata de uma substituição de laboratórios e sim uma articulação entre os dois em busca da totalidade da compreensão do fenômeno estudado.

A discussão da validade e generalizações do modelo físico utilizado em determinado contexto de aplicabilidade pode ser fomentada quando provocamos um confronto entre o modelo da simulação e o convencional, gerando reflexões das limitações de ambos, evitando assim possíveis equívocos epistemológicos.

Em situações extremamente abstratas onde não é possível a observação direta de fenômenos ou objeto físicos como, por exemplo, a queda



de um corpo com aceleração da gravidade cuja intensidade seja diferente dos valores possíveis aqui na Terra, a interação com modelos simulados no computador amplia as possibilidades do ambiente escolar. Isso é especialmente verdade quando não se tem acesso a determinados fenômenos por questões de segurança, tempo ou recursos materiais.

Existem várias dificuldades na inserção das atividades experimentais no processo de ensino; entre tantas, podemos destacar as relacionadas com a compreensão da natureza da ciência, a dificuldade de infraestrutura, a base pedagógica consistente com teorias de aprendizagem que permita articular o processo de ensino com a aprendizagem. No entanto, os laboratórios didáticos, embora distintos dos laboratórios científicos, fornecem atividades experimentais enriquecedoras para os estudantes, pois dão referências empíricas aos conceitos abstratos e formais da ciência. Permitem um relativo controle de fenômenos da natureza, possibilita um olhar crítico sobre os resultados, principalmente quando realizados numa abordagem investigativa, aproxima os estudantes do trabalho científico, propiciando o desenvolvimento da capacidade de tomar decisões de ordem técnico-científicas com base conceituais mais consistentes, formadas a partir de uma competência investigativa.

As aulas experimentais permitem uma transposição didática que considere a física como um elemento de construção humana, indo além da mera apropriação dos conceitos científicos, possibilitando discutir a visão indutivista presente em grande parte do contexto escolar. Essas aulas requerem uma abordagem mais problematizadora e interativa em atividades



investigativas. Tais características podem ser alcançadas na articulação dos laboratórios convencionais com de simulação computacional.

É verdade que as simulações podem ser realizadas numa perspectiva indutivistas, onde se busca a coleta de dados e generalizações que aparentemente não necessitam de teoria fundamentada para orientar as ações e reflexões sobre a investigação do fenômeno. Entretanto, nas simulações existe a possibilidade do teste das hipóteses, uma vez que é permitido mudar os parâmetros experimentais, mesmos que sejam difíceis de acontecer em condições convencionais. Podemos também confrontar os dados empíricos de uma experimentação em laboratórios didáticos tradicionais com os dados do laboratório computacional, propiciando nesse confronto um momento de discussão sobre a construção do conhecimento científico.

3.2 Pressupostos teóricos para a complementaridade.

Uma atividade experimental que articule os laboratórios convencionais aos computacionais deve ser estruturada com base em pressupostos teóricos bem fundamentados numa teoria de aprendizagem que possibilite a articulação desejada com base na comunicação e interatividade dos sujeitos empenhados numa ação coletiva. Assim, optamos pela teoria sócio-histórica de Vygotsky como fundamento para os pressupostos de ensino e aprendizagem.

Neste sentido destacamos a relação dialética do pensamento e da linguagem fundamentais para a organização e o ensino de física, presente na nas contribuições da teoria de Vygotsky:



Uma das contribuições mais criativas da curta carreira científica de Vygotsky foi a audaciosa proposição de que pensamento e linguagem formam relações dialéticas com a organização e a realização das atividades humanas, o que se considera como a influência marxista-engeliana mais forte da sua obra. (GIORDAN, 2008 p.33)

Uma vez que dentro das atividades humanas podemos incluir também a formação de conceitos científicos, portanto inclui-se o ensino de física. No entanto, a relação com o marxismo nos leva às atividades mais voltadas às relações sociais do trabalho.

Sobre pensamento e linguagem Vygotsky concluiu que no adulto com desenvolvimento completo, assim como nas crianças e animais, não é possível fazermos uma fusão total do pensamento e da fala, mostrando um esquema na forma de diagrama do tipo:

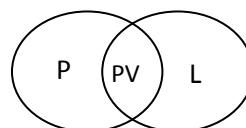


Figura 1 - Pensamento e Linguagem

Ou seja, embora exista uma área comum entre o pensamento e a linguagem um não pode ser reduzido ao outro, e cada um tem parte exclusiva. Entretanto, a parte comum onde operam tanto o pensamento (P) como a linguagem (L) produz o pensamento verbal (PV). Mais a frente então ele afirma que o pensamento e a fala não derivam da mesma raiz³. Em síntese, a fusão entre o pensamento e a fala é restrita a uma área circunscrita onde o pensamento não

³ Nos animais a fala e o pensamento têm origens diferentes e seguem cursos diferentes de desenvolvimento. No argumento utilizado para sustentar essa posição, Vygotsky apoia-se nas pesquisas com macacos antropoides. Mais particularmente nas experiências de Koehler, que segundo o autor provam o aparecimento de um intelecto embrionário relacionado ao uso e confecção de instrumentos, ou soluções alternativas de problemas apresentando-se como forma rudimentar de pensamento pertencente a uma fase pré-lingüística da evolução do pensamento.



verbal e a fala não intelectual não participam dessa fusão e são indiretamente afetados pelos processos do pensamento verbal.

Então o estudo proposto por Vygotsky proporciona uma base adequada para as relações concretas e multiformes entre o pensamento e a linguagem, surgidas no decorrer do desenvolvimento e do funcionamento do pensamento verbal em seus diversos aspectos (VYGOTSKY, 2008, p. 4) sem, no entanto reduzi-las às mesmas coisas, e introduz a ideia da natureza unitária do som e da palavra como unidade de análise. Nesse processo analítico refere-se ao produto que conserva em seus elementos todas as propriedades básicas do todo, não podendo ser dividido sem que as perca⁴ (VYGOTSKY, 2008). Para ele a unidade do pensamento verbal pode ser encontrada no aspecto intrínseco da palavra, o significado. Pois, é no significado da palavra que o pensamento e a fala se unem em pensamento verbal. Assim Vygotsky (2008, p. 5) afirma:

É no significado que podemos encontrar as relações entre o pensamento e a fala. Esse pressuposto é base teórica que fundamenta a nossa investigação sobre a construção de significados da natureza quântica da luz nos laboratórios didáticos convencionais e computacionais, uma vez que, segundo Vygotsky (2008), uma palavra não se refere simplesmente a um objeto isolado, mas a um conjunto de grupos ou classes de objetos, sendo assim, cada palavra expressa a generalização em si. Ao generalizar temos um ato verbal do pensamento que reflete a realidade de modo bem diverso daquele da sensação e da percepção.

⁴ Vygotsky (2008) exemplifica a célula viva como uma unidade de análise da biologia, pois nela há as propriedades básicas do organismo vivo.



Tudo leva a crer que a distinção qualitativa entre a sensação e o pensamento seja a presença, nesse último, de um reflexo *generalizado* da realidade, que é também a essência do significado da palavra; e, consequentemente, que o significado é um ato de pensamento, no sentido pleno do termo. Mas, ao mesmo tempo, o significado é parte inalienável da palavra como tal, e dessa forma pertence tanto ao domínio da linguagem quanto do domínio do pensamento. (VYGOTSKY, 2008, p. 6)

Portanto, temos elementos perceptivos distintos de sensações e percepções que levam a significações diferenciadas que são expressas nas palavras.

Assim a dialética entre o pensamento e a linguagem nos remete aos processos comunicativos que têm a dupla função de regular as relações sociais que se estabelecem nas situações de trabalho e de organizar os processos instrumentais pelos quais se realizam as atividades de trabalho. As relações sociais estabelecidas no ato da realização do trabalho e as formas de comunicação designam os papéis dos sujeitos e ditam suas posições durante a execução das tarefas (GIORDAN, 2008). Assim, as formas de comunicação regulam as relações de trabalho e ao mesmo tempo são instrumento de realização do mesmo.

Essa perspectiva de regulação sociocultural do trabalho pode ser vista também no ensino de física, uma vez que é uma atividade social humana inserida num sistema cultural que visa promover a educação, implicando em atribuir papel destacado à linguagem e à interação dos sujeitos. A mediação não pode ser vista apenas como auxiliar ao processo de aprendizagem. Os sujeitos aprendem devido à natureza social específica dessa atividade humana, na medida em que todas as funções intelectuais superiores originam-se das relações entre indivíduos (OSTERMANN, PRADO e RICCI, 2008).



Vygotsky (2008) sublinha o papel destacado da mediação no desenvolvimento humano. A transmissão racional e intencional da experiência e do pensamento para outro requer um sistema mediador. Seu protótipo é a fala humana, oriunda da necessidade de intercâmbio durante o trabalho. Assim Ostermann, Prado e Ricci (2008) reforçam os argumentos, pois afirmam a necessidade dos pesquisadores compreenderem:

...os processos educativos atribuídos à linguagem um papel constitutivo na elaboração conceitual - E não meramente uma dimensão comunicativa ou de instrumento, o referencial sociocultural muda radicalmente o olhar dos pesquisadores, que passam a integrar, necessariamente, a mediação do outro e de ferramentas culturais. (OSTERMANN, PRADO e RICCI, 2008, p.37)

O experimento é objeto material de mediação, ou seja, de instrumento compartilhado entre os sujeitos participantes, em especial entre os estudantes e entre eles e o professor, pois nesta atividade passam a utilizar a linguagem de forma mais efetiva para a troca e construção de significados.

Assim, a verdadeira comunicação humana pressupõe uma atitude generalizante, que constitui um estágio avançado do desenvolvimento do significado da palavra. As formas mais elevadas de comunicação humana somente são possíveis porque o pensamento do homem reflete uma realidade conceitualizada. (VYGOTSKY, 2008, p.8)

Logo, a experimentação torna-se uma importante aliada na construção de conceitos pelos estudantes nos diversos níveis escolares. Será necessário o esforço na troca e formação de significados no intuito de estabelecer a resolução de problemas mediados pelas ferramentas culturais, e assim teremos a possibilidade da formação de conceitos científicos. Assim para Vygotsky (2008, p. 73):



A formação de conceitos é resultado de uma atividade complexa, em que todas as funções intelectuais básicas tomam parte. No entanto, o processo não pode ser reduzido à associação, à atenção, à formação de imagens, à inferência ou às tendências determinantes. Todas são indispensáveis, porém insuficientes sem o uso do signo, ou palavra, como o meio pelo qual conduzimos as nossas operações mentais, controlamos o seu curso e as canalizamos em direção à solução do problema que enfrentamos.

Segundo Vygotsky (2008), os processos mentais superiores, como pensamento verbal, memória lógica e atenção seletiva, são gerados por atividades mediadas socialmente. A fonte de mediação pode ser uma ferramenta material, um sistema de símbolos ou mesmo outro sujeito, de tal forma que a utilização dos artefatos experimentais convencionais articulados com a simulação computacional estrutura um ambiente promissor para a mediação entre os sujeitos.

É importante destacar o papel da mediação social entre os sujeitos para o desenvolvimento e formação de conceitos. Também encontramos na teoria de Vygotsky uma relação explícita, entre os conhecimentos espontâneos e os não-espontâneos na formação de conceitos. Vygotsky apresenta um pressuposto teórico fundamental para o ensino de ciências, ao acreditar que o desenvolvimento dos conceitos espontâneos e não-espontâneos, ou seja, os científicos, se relacionam e se influenciam constantemente, fazendo parte do processo de desenvolvimento e formação de conceitos. Esse processo é afetado por diferentes condições externas e internas, mas constitui-se essencialmente como um processo unitário não conflitante ou antagônico, e muito menos mutuamente exclusivo.

No ensino de ciências, pesquisas recentes sobre a mudança conceitual mostram que o investimento na substituição dos conceitos construídos de



forma empírica em situações vividas no cotidiano pelos conceitos científicos não são eficazes. Podemos exemplificar com o caso clássico da mecânica da relação entre força e velocidade. No dia a dia as diversas situações como, por exemplo, empurrar uma cadeira, constrói uma concepção empírica, segundo a qual para que um objeto esteja em movimento, ou seja, tenha velocidade, é necessário uma força resultante aplicada nele. Em contrapartida, o conceito científico de inércia afirma que na ausência de força resultante, ou melhor, quando o somatório das forças que atuam num corpo seja nulo, um objeto em movimento continuará em movimento numa trajetória retilínea com velocidade constante.

Do fato de que o conceito espontâneo está em conflito com o não espontâneo, há evidências na literatura, como Mortimer (1996), que indica que essa mudança conceitual não irá acontecer. O conceito espontâneo tem uma construção de base interna e sistêmica fortemente favorecida e fundamentada com a vivência empírica do dia-a-dia, não são simples concepções isoladas, mas são estruturas conceituais elaboradas (PEDUZZI in PIETROCOLA, 2001). Sendo assim, só é possível apenas ampliar o perfil epistemológico para que sejam compreendidas as limitações desses conceitos espontâneos nas explicações de determinadas situações onde os científicos teriam um maior poder explicativo. Nesta perspectiva Mortimer (1996) contribui com o modelo de perfil conceitual que entende a evolução das ideias dos estudantes não por substituição das concepções alternativas pelas científicas e sim pela convivência de ambas, porém cada uma sendo empregada no contexto conveniente.



Ambos os conceitos podem coexistir, fazendo parte do processo único de desenvolvimento de conceitos afetados por diferentes condições externas e internas, mesmo não havendo uma expectativa de superação de uma forma de pensar sobre a outra.

Os pressupostos da teoria de aprendizagem de Vygotsky nos parece adequados ao estabelecer a relação fundamental entre o conhecimento espontâneo e o não espontâneo, ao estabelecer o papel do professor no processo como parceiro mais desenvolvido, além da importância da mediação verbal através de instrumentos. Neste caso, tanto os experimentos convencionais quanto os digitais aumentam os sistemas de signos, que compõem as atividades de ensino, possibilitando maior interação entre os sujeitos, interferindo assim no controle das funções cognitivas. Sendo assim, constitui-se uma teoria coerente e consistente com a complementaridade dos laboratórios convencionais e computacionais no ensino de física.



3.3 A complementaridade dos laboratórios.

A ideia de complementaridade dos laboratórios convencionais e de simulações computacionais foi inspirada no termo consagrado da física quântica, por Niels Bohr no início do século XX, que propõe a natureza dualista da luz com aspectos corpusculares e ondulatórios complementares.

Se demonstrarmos experimentalmente o caráter corpuscular da luz, será impossível mostrar ao mesmo tempo o seu caráter ondulatório e vice-versa (BORN, 1969). Ou seja, são necessários pelos menos dois modos alternativos de pensamento sobre a luz, ao observarmos experimentos distintos⁵ (não na estrutura, mas sim na concepção teórica/instrumental da observação); tais experimentos complementares devem ser considerados sem contradições, pois um completa o outro e ambos independentemente formam a compreensão da natureza da luz.

A complementaridade dos laboratórios envolve uma ênfase na integração, pois cada laboratório pode ser uma referência independente para o mesmo fenômeno e cada um apresenta elementos teóricos e concepções sobre a experimentação que abordam aspectos diferenciados sem, necessariamente conflitarem, mas se complementam numa perspectiva independente e ampliam as discussões em torno dos possíveis significados acerca dos fenômenos físicos.

⁵ O experimento da dupla fenda pode ser feito para investigar o fenômeno ondulatório a partir de um padrão de interferência visto em um anteparo a certa distância. Ou no mesmo experimento investiga-se por qual fenda o elétron passou. Neste caso se deve colocar o observador, ou seja, o anteparo frente a cada uma das fendas.



Um, por exemplo, apresenta elementos visuais típicos da simulação computacional baseado em representações e leis determinadas pelas tecnologias inteligentes, onde o modelo informático é explorado numa intensa dimensão interativa, mesmo que para isso seja necessário uma simplificação do fenômeno físico, a partir das linguagens de programação. O outro, contrariamente, é um modelo mais analógico com elementos visuais menos dinâmicos, mais complexos na sua instrumentalização e na requerida habilidade experimental. Nele o fenômeno apresenta-se em geral de forma menos simplificada, exige mais das habilidades sensório motoras na manipulação de objetos físicos. É facilmente relacionado com o mundo empírico vivencial, servindo de referência para o mesmo.

Lévy (1998, p. 122) estabelece que o conhecimento por simulação diferencia-se das outras tecnologias, pois:

A manipulação dos parâmetros e a simulação de todas as circunstâncias possíveis dão ao usuário uma espécie de intuição das relações de causa-efeito presentes no modelo. Ele adquire um *conhecimento por simulação* do sistema modelado, que não se assemelha nem a um conhecimento teórico, nem a uma experiência prática, nem ao acúmulo de uma tradição oral.

Portanto, os dois cenários de experimentação apresentam características próprias, com elementos distintos de interação. O mouse, o teclado e a tela do computador são os principais instrumentos que mediam as ações básicas dos sujeitos no comando de operações em sistemas de simulação computacional. Essas interfaces são típicas do ambiente no ciberespaço e possivelmente do domínio dos estudantes. Apresentam características de virtualização, desterritorialização e da rapidez das ações que



alteram as relações entre os sujeitos, pois aumentam e ampliam as possibilidades e espaços de interação.

Este cenário diferencia-se fundamentalmente da experimentação convencional, onde os instrumentos do laboratório que mediam as relações interativas apresentam características que em geral não são comuns às atividades dos estudantes e, em geral, do domínio dos professores. Essas atividades envolvem ler instrumentos, montar, alinhar, manipular objetos e sentir medo, calor, incômodos de diversos tipos como: sonoros, visuais, térmicos e outros, que por vezes podem ser arriscados para a sua integridade física. Portanto, requerem e estabelecem outras mediações que possibilitam diferentes comunicações entre os sujeitos envolvidos na atividade. Estes ambientes são marcados pelos territórios limitados do espaço e tempo, as virtualizações são possíveis mas em geral não estão tão potencializadas e a interação acontece de forma síncrona. Laboratórios convencionais estão mais incorporados à lógica de aula com hora marcada para início e fim determinados pela organização escolar. Os laboratórios baseados nas TIC, embora sejam passíveis de atenderem a essa lógica, provocam juntamente uma reflexão sobre a necessidade de redimensionar o tempo escolar, pois as interações em tempo não presencial podem ser ampliadas pelas diversas possibilidades comunicativas e, portanto surgem novos espaços sociais que podem ser utilizados no contexto educacional.

Giordan (2008) mostra um aspecto importante para a discussão da complementaridade, quando destaca a importância do uso das linguagens de programação pelos estudantes em atividades propostas para a resolução de



problemas na Educação Básica. Ele adverte para a necessidade do domínio da sintaxe dos comandos, uma vez que para aplicativos de compilação que transformam a sequência de comandos em instruções binárias não é permitido erros. Portanto, se essas regras não forem cumpridas, inviabilizam o processamento computacional e a interação aluno-computador (GIORDAN 2008). Entretanto, programas de modelagem computacional buscam intermediar essa interação ao produzir uma interface mais amigável de comandos que executam a linguagem estruturada. Como é o caso, por exemplo, do programa *Modellus*, conforme nos mostra Teodoro (2002 p. 25):

Esta foi a opção adotada no design do Modellus: a construção de modelos é feita tão próxima quanto possível do modo como se constrói e se utiliza um modelo sem computador: Deste modo, procura-se que o utilizador, aluno e professor, pense com o computador como pensaria se estivesse usando o lápis e o papel. Claro que essa opção só é possível porque, hoje em dia, os ambientes gráficos e de manipulação direta (SHNEIDERMAN, 1983) são praticamente intuitivos para os utilizadores de computador.

Tipicamente no laboratório convencional, ao contrário das regras de sintaxe impostas no ambiente computacional, mesmo que as regras da linguagem humana não sejam estritamente seguidas, suas regras não impedem a interação entre os sujeitos (GIORDAN 2008) e entre eles e os objetos do laboratório.

É fato que sendo a linguagem estruturadora da comunicação, seja entre pessoas ou entre pessoas e máquinas, ela condiciona o desenvolvimento de funções mentais superiores, a aprendizagem e, portanto, as ações da sala de aula com ou sem computador. (GIORDAN 2008, p. 115)

Então, ambientes educacionais com computadores podem estruturar espaços de comunicação diferenciados dos convencionais e, portanto, potencializar a comunicação pela diversidade interativa das mídias.



Outro aspecto importante a ser discutido é a relevância da visualização de fenômenos como forma de contribuir para a superação da falta de interesse, quando a mesma advém da necessidade do componente visual em fenômenos marcados por objetos submicroscópicos. Giordan (2008), discutindo sobre as dificuldades no ensino de objetos moleculares devido à falta de visualização dos mesmos pelos estudantes, afirma que:

Se a impossibilidade de acesso visual aos fenômenos submicroscópicos é, conforme temos observado, uma das fontes de desinteresse quando se estudam esses fenômenos na sala de aula, então temos a possibilidade de rediscutir essa importante questão com outras condições de contorno. Neste campo de estudo, a visualização em todos os seus desdobramentos estéticos, epistemológicos e mentais tem uma contribuição importante a oferecer. (GIORDAN, 2008 p.103,104)

Dessa forma, a equipe de elaboração da simulação deve refletir sobre os desdobramentos estéticos, epistemológicos e mentais que irá provocar nos estudantes. Portanto, exige a formação de uma equipe multidisciplinar. Sendo assim, esse é mais um aspecto relevante para discutirmos sobre a complementaridade dos laboratórios. Pois enquanto o convencional em geral permite analisar aspectos visuais mais macroscópicos, o outro permite abusar da representação de objetos submicroscópicos em escalas maiores, podendo cometer equívocos epistemológicos e estéticos.

No entanto, é possível que, em ambos os casos, não sejam apresentados os compromissos estéticos e epistemológicos e mesmo ontológicos na representação e comunicação do fenômeno estudado. No laboratório de simulação computacional é mais preocupante uma vez que as leis e fenômenos passam por transformações que podem ser previamente determinadas em função das características técnicas da linguagem de



programação ou mesmo da habilidade e concepções do programador, determinando assim representações visuais nos programas, que podem dificultar as relações mediáticas para formação de conceitos científicos.



Nesta discussão podemos citar como exemplo a simulação do efeito fotoelétrico, que por ser um experimento que evidencia a natureza quântica corpuscular da luz, em muitas simulações são visualmente atribuídas características clássicas na representação do fóton. Eles são comparados a bolinhas de massa bem definidas como as de gude. Nestes casos, a representação visual do fóton foi previamente determinada e necessita da contextualização ou conceituação do grupo que utiliza tal simulação. Então, é imposta uma visão sociocultural anterior ao processo de elaboração de significados e formação de conceitos sobre a luz.

No laboratório convencional não é possível a visualização do fóton, apenas de seus efeitos do ponto de vista fenomenológico. No entanto, a sua representação mental passará a ser elaborada e determinada pelos condicionantes socioculturais que envolve a atividade de ensino. Assim temos a complementaridade dos laboratórios, uma vez que em alguns casos de simulação o programa tem uma visão previamente estabelecida atribuída ao fenômeno, ao passo que no laboratório convencional isso não é previamente estabelecido e depende da construção sociocultural durante a atividade de ensino.

Giordan (2008) destaca a importância do materialismo histórico e dialético quando na presença de computadores no ensino, devido a suas propriedades de produção e vinculação semiótica. Cita como exemplo hipotético no estudo do ciclo da água, a seguir:



Imaginemos uma situação de estudo sobre o ciclo da água na qual seja permitido ao aluno acessar, na tradicional ilustração esquemática animações, infogramas, tabelas, gráficos ou vídeos relativos aos processos de mudança de estado de agregação, percolação pelo solo, dissolução de matérias, etc. Tanto a diversidade como a combinação dessas formas de representação devem contribuir originalmente para a significação, fundamentalmente quando esse aluno tiver a sua disposição ferramentas computacionais que lhe permitam expressar-se por meio delas. (GIORDAN, 2008, p.39)

Neste exemplo evidenciamos a perspectiva da complementaridade dos laboratórios, pois com a presença das TIC temos a amplificação do poder de comunicação dos sujeitos, possibilitando o desenvolvimento do pensamento verbal em torno da atividade experimental e, portanto contribuindo para a internalização e formação de conceitos científicos.

3.4 A física quântica no ensino médio e a dualidade da luz.

A inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio tem sido defendida há alguns anos, por vários autores, tais como Terrazan (1994), Stefanel (1999), Pinto e Zanetic (1999), Cavalcante e Tavolaro (2001), Müller e Wiesner (2002), Pietrocola (2008), Pereira e Ostemann (2009), Freire Jr. (2009), Greca e Freire Jr. (2012) dentre outros, configurando-se como consenso nas pesquisas de ensino de física. O debate gira em torno de como inserir FMC no ensino médio.

Neste debate, Pessoa Jr (1997) propõe a introdução da física quântica no ensino, a partir da discussão da dualidade onda-partícula da luz. Ele considera que dentro das diversas perspectivas da essência da física quântica-quantização da energia, o papel da probabilidade, o princípio de incerteza, o papel do observador, o princípio quântico de superposição, o papel dos números complexos, a não localidade, a escala determinada pela constante de



Planck. A dualidade da luz é a mais relevante como ponto de partida da física quântica. Chega a afirmar que a versão geral da dualidade onda-partícula caracteriza a teoria quântica, ou seja:

Em poucas palavras, o que caracteriza a Teoria Quântica de maneira essencial é que ela é a teoria que atribui, para qualquer partícula individual aspectos ondulatórios, e para qualquer forma de radiação aspectos corpusculares (PESSOA JR., 2003, p. 1).

Essa natureza dualista da luz provoca modificações filosóficas na concepção de ciência, pois o paradigma anterior, ou seja, a mecânica newtoniana, um objeto tem sempre um único aspecto, onda ou partícula. Um elétron, por exemplo, é considerado partícula e não uma onda, neste determinismo não cabe à dualidade, na física quântica essa distinção entre partícula e onda foi “borrada”. Então essa discussão tem contribuições para a formação de concepções contemporâneas sobre a natureza da luz. E possibilita também uma diversidade de interpretações sobre os fenômenos relacionados com a luz. Tais interpretações são múltiplas e cada uma é internamente consistente (mas não consistente com outra interpretação), diferentemente da física clássica, aonde as interpretações vêm em menor número e, comumente, não são evidenciadas no ensino.

Ao mesmo tempo em que essa qualidade dualista possibilita a superação da visão clássica, também pode ser considerada como obstáculo para inserção no ensino médio, devido às concepções sobre a natureza da ciência muito frequentes no processo de ensino, que dificulta tal inserção pelas modificações que irá provocar neste contexto, especialmente na visão predominantemente clássica dos professores no ensino médio.



Segundo Pessoa Jr (2003), pode-se destacar quatro interpretações presentes na física quântica, e recentemente ele menciona uma quinta interpretação, a instrumentalista (PESSOA JR., 2012). Vejamos as cinco interpretações a seguir:

1) *Ondulatória* - Antes da detecção, o objeto quântico propaga-se como um onda, mas durante a detecção ele torna-se mais ou menos bem localizado, parecendo uma partícula ou seja;

Este ponto de vista considera que a função de onda quântica corresponde a uma realidade, uma realidade ondulatória, “borrada”, ou talvez uma “potencialidade”. Numa versão ingênua da interpretação ondulatória, a realidade que corresponde à função de onda sofreria colapsos toda vez que ela interage com um aparelho de medição. (PESSOA JR., 2012, p. 2)

2) *Corpuscular* - O fóton e o elétron seriam na realidade uma partícula, o que é manifestado quando o detectamos:

As entidades microscópicas são partículas, sem uma onda real associada: as franjas de interferência que observamos seriam consequência das leis de propagação quânticas, regidas pela mecânica ondulatória, mas não haveria uma onda real. (PESSOA JR., 2012, p. 2)

3) *Dualista Realista* - O objeto quântico se divide em duas partes: uma partícula com trajetória bem definida (mas desconhecida), e uma onda associada. Nesta interpretação.

4) *Complementaridade* - tem como fundamento que a natureza da luz apresenta os aspectos ondulatório e corpuscular de forma não contraditórios, mas complementares. Proposta por Niels Bohr em 1928, afirma que a natureza corpuscular e ondulatória são ambas detectáveis separadamente e manifestam-se de acordo com o tipo de experiência. Segundo Segrè (1987):



Bohr aprofundou as idéias básicas da mecânica quântica, chegando a noção de complementaridade. Duas grandezas são complementares quando uma delas impede a medição simultânea e acurada da outra. Do mesmo modo, dois conceitos são complementares quando um impõe limitações ao outro. (SEGRÈ, 1987, p. 171)

Assim, a complementaridade é mais uma forma de pensar do que um conceito preciso (SEGRÈ, 1987), de forma que a aqui consideramos como uma forma de interpretar. Mas podemos então levantar um questionamento: o que é então uma interpretação para a FQ? Segundo Pessoa Jr. (2003), ela é a ligação entre conceitos teóricos e a realidade, respeitando as regras de correspondências. Portanto,

As regras de correspondência seriam uma forma básica de interpretação com a qual todos concordam, e estaria incorporada ao formalismo mínimo da teoria. Já as interpretações propriamente ditas seriam adicionadas por diferentes cientistas, podendo variar de cientista para cientista, sem com isso modificar as previsões da teoria. (PESSOA JR., 2003, p. 64)

5) *Interpretações Instrumentalistas dos Coletivos* – conjunto de interpretações que combina uma atitude antirrealista com a tese de que a teoria quântica é uma descrição estatística que refere-se a um coletivo estatístico, e não a partículas individuais. Essa interpretação pode ser chamada de “instrumentalismo”, caracterizado jocosamente como a atitude do tipo “cala boca e calcula” (PESSOA JR., 2012, p. 3). Sendo considerada como uma atitude muito comum entre os físicos, pode ser enquadrada no conjunto de interpretações “ortodoxas”. Segundo Pessoa Jr.(2012), os defensores desta abordagem em alguns momentos afirmam que há apenas uma interpretação para a FQ, sendo associada à regra de Max Born (1882 – 1970) e que as outras abordagens são apenas elucubrações filosóficas estéreis (PESSOA JR., 2012, p. 3). Em nossa maneira de ver, essa interpretação não tem cabimento



no contexto do ensino médio, visto que os objetivos deste nível é preparar o sujeito para a vida e não necessariamente para a carreira científica, na qual o instrumental matemático é mais aprofundado e formal.

A diversidade de interpretações a partir de um mesmo conjunto de fundamentos teóricos, contribuem para formar a concepção sobre a natureza da ciência, ao apresentar aspectos como a não neutralidade do cientista a partir das suas subjetividades interpretativas. Isso se contrapõe, então, ao paradigma da neutralidade científica, presente em alguns momentos de forma equivocada no ensino da física, principalmente no nível escolar médio. A discussão da FQ provoca o debate com mais intensidade quando mostra essa diversidade de interpretações que questionam o papel do cientista a partir de sua adesão a determinada interpretação da FQ ou a recusa da possibilidade da diversidade das interpretações, como é o caso dos Instrumentalistas.

3.4.1 *A dualidade da luz no IMZ.*

Pessoa Jr (2003), propõe a introdução da FQ a partir da discussão utilizando o interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ). Ricci, Prado e Ostermann (2007) também argumentam a favor da inserção da FQ com o IMZ, tanto para estudantes quanto para professores, em cursos introdutórios de FQ. 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, desenvolveram uma bancada de simulação computacional do IMZ como forma de introduzir a FQ nos cursos de graduação.



Através de Pietrocola et al (2010), notamos que essas discussões chegam aos livros didáticos do ensino médio em uma seção intitulada “Explorando a Situação”, onde encontramos um texto que descreve o IMZ e as possíveis interpretação da FQ sobre a natureza da Luz.

O IMZ é um aparato experimental desenvolvido há mais de 100 anos por dois físicos, Ludwig Zehnder e Ludwig Mach, por volta de 1892 (PESSOA JR, 2003). Inicialmente sua aplicação foi voltada para estudar índices de refração de materiais. Ainda hoje é utilizado nas pesquisas em física sobre propriedades ópticas, sendo também aplicado na comunicação com a função de transformar bits em pulso de luz, pois com o interferômetro é possível “acender e apagar” a luz baseado na possibilidade de mudar rapidamente de uma situação de interferência destrutiva, sem luz, para uma construtiva, a partir da mudança do índice de refração de alguns materiais pela passagem da corrente elétrica. O bit elétrico, mudando as características dos semi-espelhos, torna possível a mudança do tipo de interferência no sinal luminoso, transformando assim um bit elétrico em luminoso (DORIA & MARINHO, 2006).

Na Figura 2 (SCHILLER, 2012) temos a realização de um experimento do IMZ.

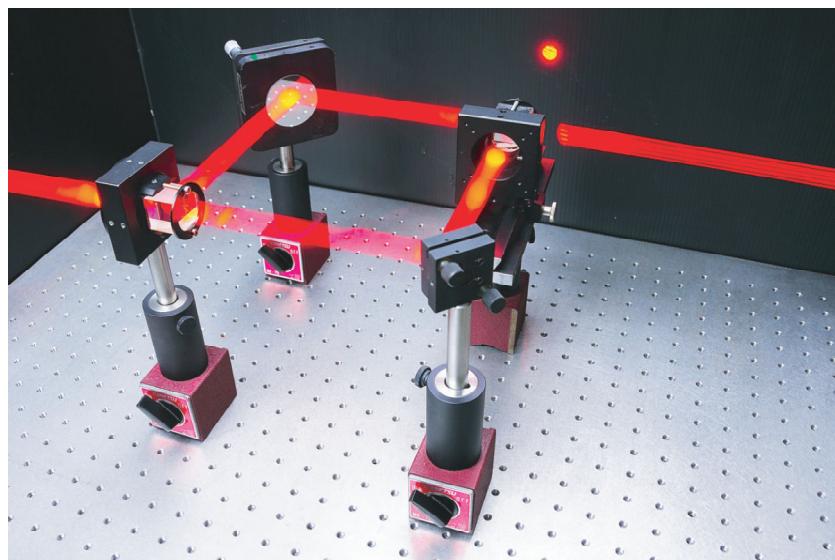


Figura 2 - IMZ no Laboratório Convencional

Na Figura 3 temos a representação esquemática do IMZ.

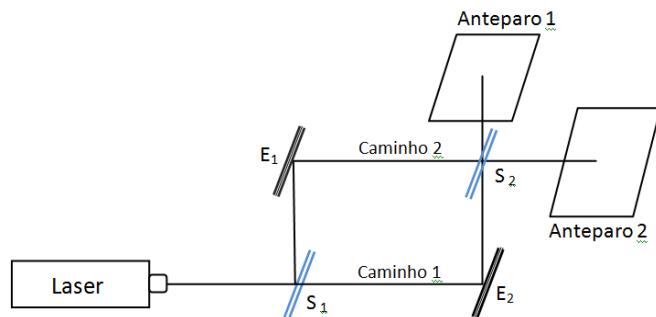


Figura 3 Esquema do IMZ

O IMZ é formado basicamente por uma fonte de laser, dois espelhos de reflexão total E_1 e E_2 , dois semi-espelhos S_1 e S_2 com reflexão de 50% 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 em duas partes, 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 um 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 e segue para o semi-espelho S_2 constituindo o caminho 2. Após passar pelo semi-espelho S_2 os feixes oriundos de caminhos distintos reencontram-se e as figuras de interferência desses feixes são observados 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. As componentes refletidas do feixe luminoso sofrem um deslocamento de fase de $\pi/2$, correspondente a diferença de caminho óptico de $1/4$ de comprimento de onda, as componentes do feixe que incidem no anteparo 1, estão em fase, resultando em interferência construtiva, enquanto que as componentes do feixe que incidem no anteparo 2 estão defasados em $\lambda/2$, sendo então uma interferência destrutiva. Têm-se, portanto, 100% do feixe detectado no anteparo 1 e 0% do feixe detectado no anteparo 2. Em ambos os anteparos observa-se um padrão de interferência típico, com faixas claras e escuras semelhante ao padrão da dupla fenda.

3.4.2 *A simulação computacional do IMZ*

Para obtermos o experimento em regime quântico é necessário uma fonte de laser em regime monofotônico e detectores de fôtons únicos. Essa necessidade torna o experimento muito sofisticado do ponto de vista didático. Assim, segundo Ostermann e Ricci (2005), uma opção para o ensino é a simulação computacional.



No caso do interferômetro de Mach-Zehnder, trata-se de um arranjo experimental muito sofisticado e difícil de reproduzir em laboratórios de ensino, além do que o regime monofotônico do feixe luminoso utilizado só foi implementado em meados da década de 1980, em laboratórios de física avançados, sendo praticamente impossível, por ora e pelos próximos anos, sua reprodução em laboratórios de ensino. (OSTERMANN e RICCI, 2005, p. 16)

O desenvolvimento de um software de simulação do IMZ para fins didáticos justifica-se plenamente, uma vez que as simulações computacionais configuram-se como importante instrumento de ensino e aprendizagem, pois dentre outras características percebe-se que elas permitem a visualização gráfica de elementos sutis do modelo teórico e de fenômenos, possibilitam a participação ativa dos estudantes, devido a seu grau de interatividade, e contribuem para a interpretação de modelos físicos quando utilizados como laboratórios de simulações computacionais.

O desenvolvimento de software tipo bancada de simulação do IMZ é uma interessante possibilidade, do ponto de vista da interatividade e visualização do fenômeno da dualidade da luz, para se discutir esse arranjo experimental no ensino médio com vista à introdução da FQ. A utilização do software de simulação do IMZ para fins didáticos justifica-se também pela dificuldade de aquisição de material de custo relativamente elevado para o contexto da realidade econômica da grande maioria das escolas de ensino médio, mesmo no equipamento de regime não quântico.

Pereira e Ostermann (2009) propõem a utilização de um software, desenvolvido pelo grupo de pesquisa, que simula uma bancada virtual do interferômetro de Mach-Zehnder.



Esse aparato experimental pode ser simulado por um programa disponível em www.if.ufrgs.br/~fernanda/IMZ. A seguir temos a imagem inicial do programa.

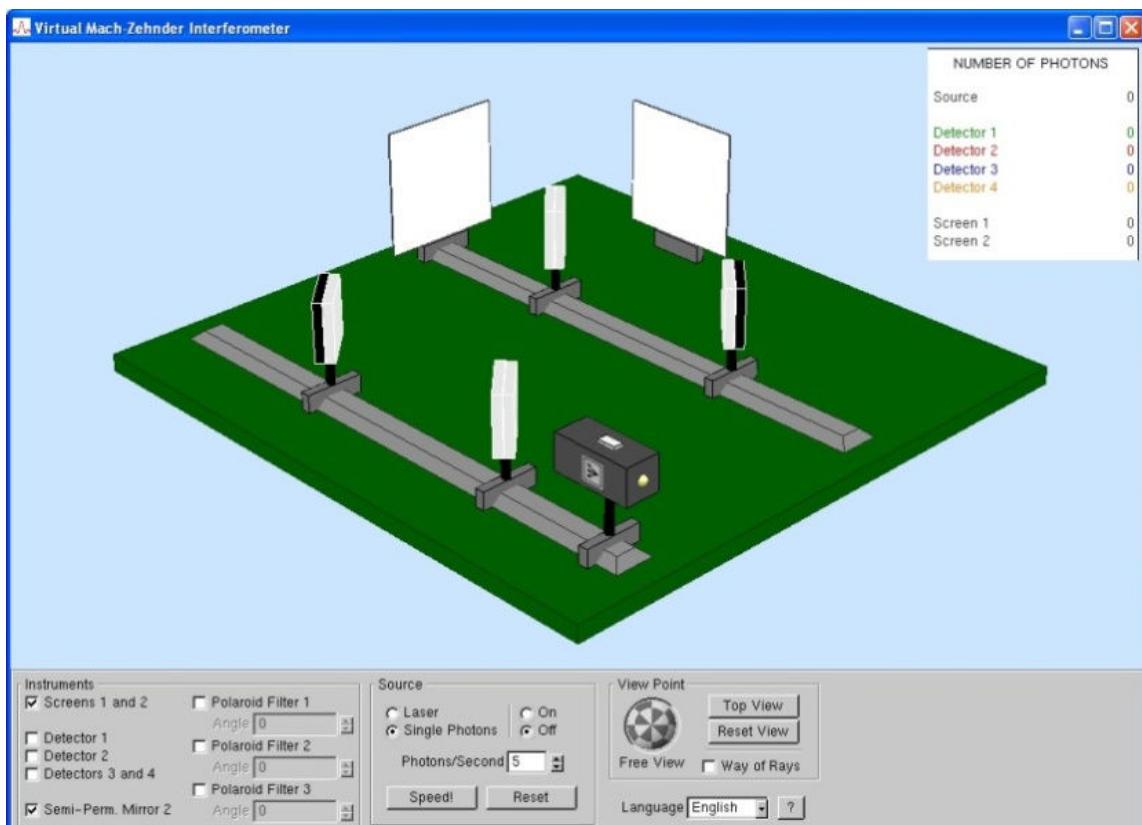


Figura 4 - Bancada de Simulação do IMZ

Este simulador foi desenvolvido para o sistema operacional *Windows*, em três línguas (português, espanhol e inglês), não necessita de máquinas muito sofisticadas, trabalha off-line e é gratuito, mas não é permitido o acesso livre ao código do programa. Sua utilização é fácil, sem necessidade de maiores explicações para interagir com o programa, não há dificuldade em sua instalação, podendo ser executado a partir de dispositivos de memórias auxiliares (CD-ROM, pendrive, cartões de memória etc.).



A simulação permite realizar diversas atividades, tanto no regime clássico ondulatório quanto no regime quântico monofotônico, para explorar os comportamentos corpuscular e ondulatório da luz. Nele é possível a discussão conceitual sobre o fenômeno de interferência para fôtons únicos, com o uso de detectores para identificar a passagem do fôton por um dos caminhos.

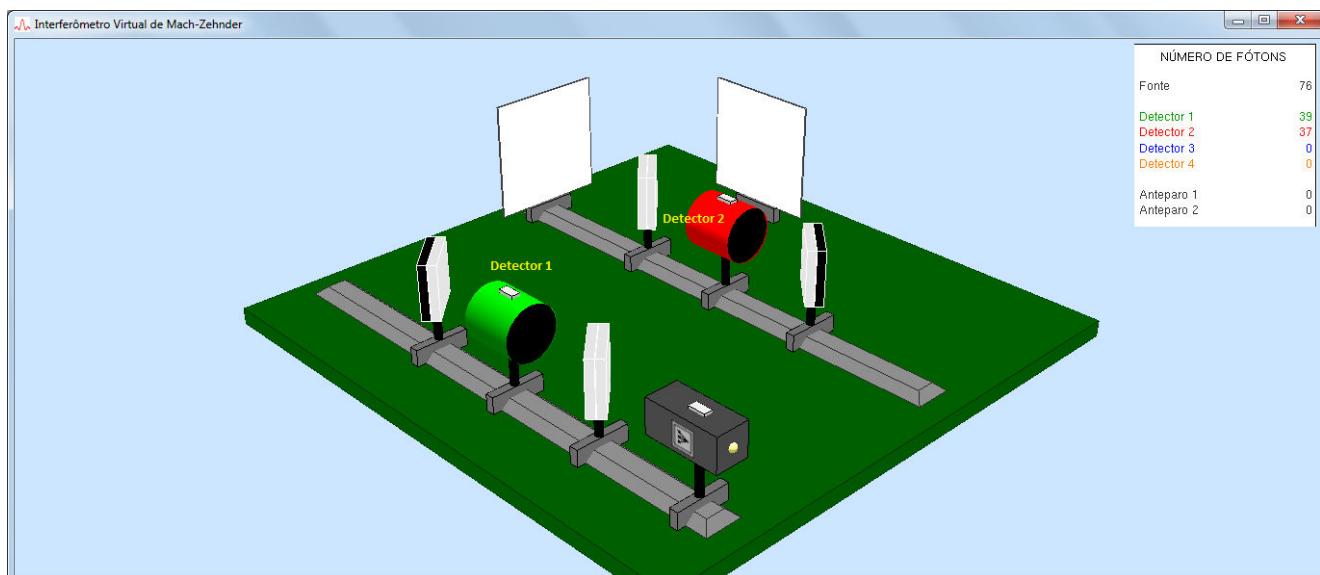


Figura 5 - Detectores de fôtons únicos

Dispõe também de dispositivos de polarizadores que permitem explorar conceitos de polarização (Figura 6).



Figura 6 - Filtros polarizadores

Além de possibilitar a visualização do padrão de interferência nos



anteparos, tanto no regime clássico ondulatório quanto no regime quântico monofotônico (Figuras 7 e 8).

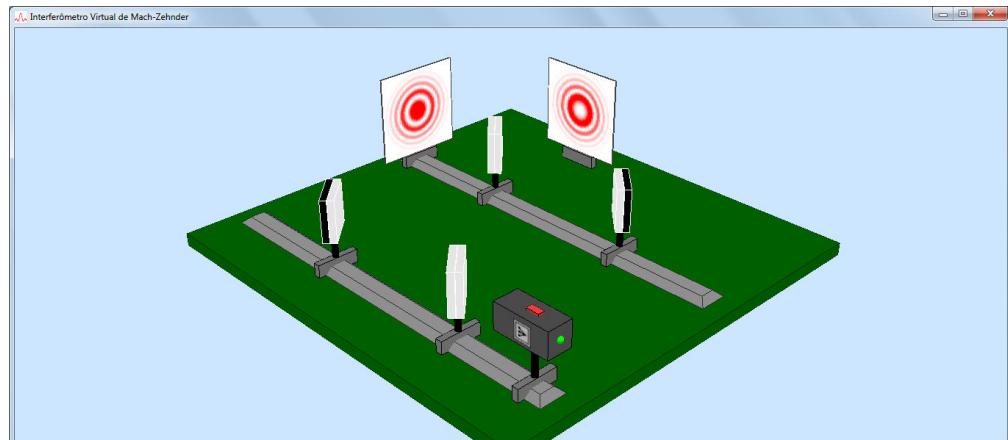


Figura 7 - Padrão de interferência ondulatório

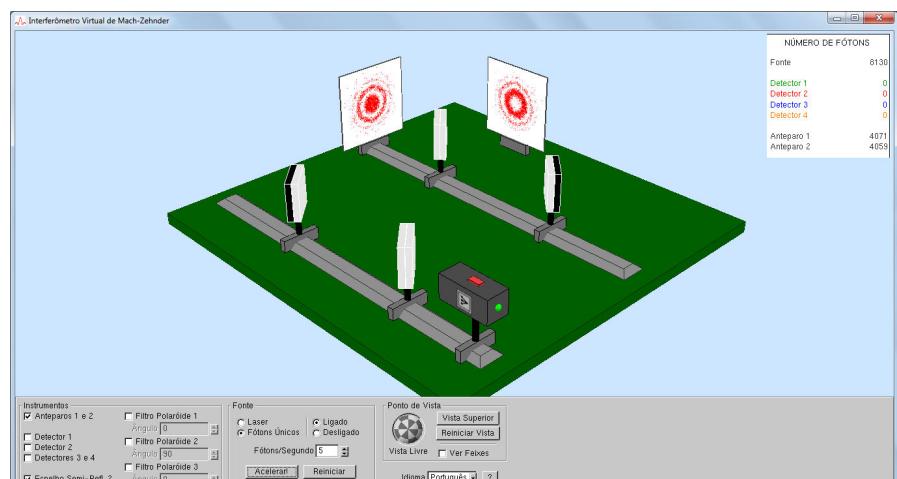


Figura 8 - Padrão de interferência monofotônico

Esse programa é uma versão mais aprimorada do software produzido por Muller e Wiesner (2002), além de modernizado em recursos visuais, permite ao usuário a opção de retirar o segundo semi-espelho, combinada com o uso dos polaroides (RICCI, OSTERMANN, PRADO, 2007). Aumentam-se assim as possibilidades de interatividade com a simulação, favorecendo mais a experimentação.



4.0 Metodologia da Pesquisa

Para a compreensão refinada dos significados e interpretações construídas pelos sujeitos durante as vivências experimentais nos laboratórios de simulação computacional e convencional, usamos como apporte metodológico da investigação o paradigma do interpretativismo.

Os dados empíricos da pesquisa foram produzidos a partir das filmagens de duas sequências didáticas independentes. A primeira foi uma aula de laboratório que contou com o programa de simulação do IMZ, e foi realizada em sala específica de informática dos Campi de Salvador e Camaçari do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), com turmas do curso técnico integrado. A segunda sequência didática foi realizada com um grupo menor de estudantes no laboratório de física do Campus de Camaçari com o IMZ didático. A partir dos vídeos produzidos selecionamos os episódios, e partimos para análise.

A análise dos dados na pesquisa qualitativa consiste na preparação e organização das informações, quer sejam textos transcritos ou imagens. Devem ser criados códigos representativos que estarão presentes em figuras, tabelas e discussões (CRESWELLI, 2007). A organização dos dados permite fornecer sentido às informações coletadas, favorecendo a apresentação dos resultados e as conclusões do estudo. Essa necessidade de organização orientou a análise metodológica dos dados da pesquisa de forma a refletir na



escolha da técnica de análise e na forma de gerenciamento das informações e dados investigativos.

Bogdan e Biklen (1994) afirmam que depois da coleta, o pesquisador precisa esperar um tempo antes de iniciar a análise; entretanto, Miles e Hubermam (1994) defendem a importância de coletar e analisar simultaneamente. Assim adotamos a com coleta e análise ao mesmo tempo para evitarmos repetições desnecessárias. Além disso, Charmaz (2006), afirma que é necessário coletar os dados até quando começarem a repetir as regularidades e isso só é possível ser percebido se fizermos a coleta e análise juntas.

O modo como analisamos os dados reflete a visão epistemológica do paradigma adotado na pesquisa, quer seja quantitativo, qualitativo ou a integração de ambos. Segundo Moraes e Galiazzi (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 refutá-las e sim compreender e reconstruir significados sobre os temas investigados.

Assim, optamos pela Análise Textual Discursiva (ATD), pois corresponde a uma metodologia de análise de dados qualitativa com a finalidade de produzir novas compreensões sobre os fenômenos e discursos investigados. A ATD vem sendo cada vez mais utilizado nas pesquisas da área de ensino de



ciências (HALMENSCHLAGER, 2010; GEHLEN, 2009; GOLÇALVES e MARQUES, 2006; GALIAZZI, 2003). Na ATD, a análise dos textos:

Sempre parte do pressuposto de que toda leitura já é uma interpretação e que não existe uma leitura única e objetiva. Ainda que, seguidamente, dentro de determinados grupos, possam ocorrer interpretações semelhantes, um texto sempre possibilita construir múltiplos significados. (MORAES & GALIAZZI, 2011, p. 14)

Além disso, consideramos que todo olhar acontece impregnado de teoria. Logo, são possíveis outras análises, com diferentes visões e categorias, a partir de referenciais e posturas teóricas distintas.

A ATD nos permite ficar entre as soluções propostas pela análise de conteúdo (AC) e a análise de discurso (AD), localizando-se dentro de um mesmo eixo como um rio de análises, num contínuo de características polarizadas. Mesmo havendo diferentes características, verificam-se continuidades que se manifestam em diferentes graus ou intensidades. A ATD assume pressupostos que a localizam entre os extremos de polarização da AC e da AD (MORAES & GALIAZZI, 2011).

Com frequência, a ATD é confundida com a Análise do Conteúdo (AC) e com a Análise do Discurso (AD), contudo, ela transita entre esses dois procedimentos. Segundo Moraes e Galiazzzi:

A análise do conteúdo, análise do discurso e análise textual discursiva constituem metodologias que se encontram num único domínio, a análise textual. Mesmo que possam ser examinadas a partir de um eixo comum de características, também apresentam diferenças, sendo estas geralmente mais em grau ou intensidade de suas características do que em qualidade. (MORAES & GALIAZZI, 2011, P. 140)

Com a análise do conteúdo, assemelha-se pelo estabelecimento de categorias, de preferência emergentes, mais no sentido de reconstrução teórica do que de crítica. Também, aproxima-se da análise do conteúdo por enfocar a

descrição como tão importante quanto a interpretação. Da análise do discurso, aproxima-se por perceber seus objetos como discursos e não como fenômenos isolados e por enfatizar sistematicamente a postura do pesquisador como leitor e autor.

Segundo Moraes (2003), a ATD resulta na 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.

A análise textual discursiva é um processo auto-organizado constituído de componentes cílicos: 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. Na Figura 3, Moraes e Galiazz (2011 p. 41) enfatizam a ATD como um processo cílico:

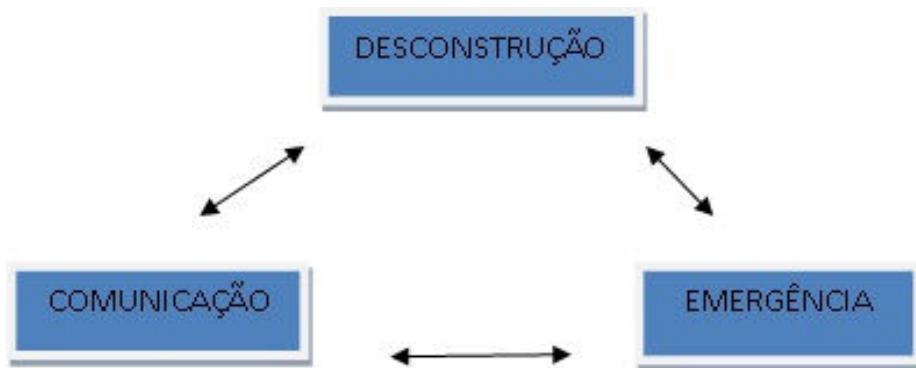


Figura 9 - Ciclo da Análise Textual Discursiva



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 a fragmentação clássica associada ao 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 & GALIAZZI, 2011).

Nesta etapa, os objetivos da pesquisa, bem como seu referencial teórico, guiam os recortes do texto de forma que cada fragmento produzido deve relacionar-se com o problema de pesquisa. Então, a unitarização deve refletir a intencionalidade da pesquisa e ajudar a atingi-la.

A categorização implica em construir relações entre as unidades básicas do texto, combinando e classificando-as no sentido de compreender como esses elementos unitários podem ser reunidos na formação de conjuntos mais complexos, as categorias, que constituem conceitos mais abrangentes e possibilita compreender os fenômenos investigados.

Neste processo cílico, o novo emergente é resultado da intensa impregnação nos materiais da análise desencadeada pelos dois estágios anteriores, permitindo a emergência de uma compreensão renovada do todo.



O investimento na comunicação dessa nova compreensão, assim como de sua crítica e validação, constitui o último elemento do ciclo de análise proposto. O metatexto resultante desse processo representa um esforço em explicitar a compreensão que se apresenta como produto de uma nova combinação dos elementos construídos ao longo dos passos anteriores. Portanto, os resultados da análise dependem tanto dos autores dos textos quanto do pesquisador (MORAES & GALIAZZI, 2011).

Moraes (2003) afirma que esse processo em seu todo pode ser comparado com uma tempestade de luz, pois:

O processo analítico consiste em criar as condições de formação dessa tempestade em que, emergindo do meio caótico e desordenado, formam-se *flashes* fugazes de raios de luz iluminando os fenômenos investigados, que possibilitam, por meio de um esforço de comunicação intenso, expressar novas compreensões atingidas ao longo da análise. (MORAES, p.192, 2003)

Devido ao processo de desconstrução/reconstrução dos textos e o caráter cíclico, a codificação do processo é importante para que os dados sejam analisados sem perder os mesmos do contexto original e do conjunto de dados. Ou seja, é necessário elaborar um sistema de código que permita identificar textos originais, significados e outros elementos da análise de forma organizada e dinâmica. Os códigos devem constituir um conjunto de indicadores que possibilite relacionar as unidades e categorias construídas com os textos dos quais se originaram. Além disso, os códigos permitem voltar aos textos originais sempre que isso se fizer necessário, principalmente para superar a inevitável fragmentação na análise (MORAES & GALIAZZI, 2011). Tendo como pressuposto que as partes não constituem necessariamente o



todo, as inter-relações entre as partes é que forma o corpus e sempre será necessário o ir e vir das partes para o todo e vice-versa.

Dessa forma, como nosso objetivo é perceber os significados construídos nos laboratórios didáticos de simulações computacionais e os laboratórios didáticos convencionais, utilizamos a ATD como processo de análise dos textos discursivos produzidos nas aulas usando as filmagens e entrevista, ambos transcritos, como elementos textuais, ou seja, o *Corpus* a ser analisado. Partindo do princípio da conceituação mais abrangente do significado de um texto, identificamos uma concordância entre o objeto de pesquisa, o problema, a fundamentação teórica e a metodologia utilizada.

Nesta etapa a utilização do computador encoraja e facilita o pesquisador a trabalhar com dados. Nos anos 80, houve o desenvolvimento de programas computacionais (Atlas.ti, NVivo, Maxqda, HyperResearch, Ethnograph, Gator, Textbase Alpha, Text Analysis Package, Nudesta, Qualpro, Reflex, dBase IV, Notebook II) para a pesquisa qualitativa, com o intuito de auxiliar a tarefa do pesquisador (CASSIANI e ZAGO, 1997). Os computadores são utilizados na coleta, armazenamento, recuperação de dados na análise estatística, sistemas de administração de dados, edição de textos e comunicação entre os pesquisadores, além de estimular o insight analítico e permitir experimentar dados em categorias alternadas. Nesta etapa utilizamos duas planilhas de cálculo para a organização e os registros dos dados. A primeira planilha, chamada de fichamento, é onde são organizados o referencial teórico em unidades teóricas, com as citações pertinentes, destacando-se sua unidade de significado e por fim nossos comentários. As



referências da obra fichada são completas de acordo com as normas da ABNT e utilizando hiperlink para acesso aos textos. Ver a Figura 10:

	A	B	C	D	E	F
1	CO	Referências	Unidade teórica	Citação	Unidade de significado	Comentários
2		Pessoa Jr, Osvaldo. <i>Conceitos de Física Quântica</i> , SP:Livraria da Física. 2003.	Conceitos de Física Quântica	a) O nome "quântico" sugere que o essencial é a presença de quantidades <i>discretas</i> , como os "pacotes" de energia, ou de processos descontínuos.(Pessoa Jr 2003, p.1)	<i>Essência da Física Quântica</i>	
3		Pessoa Jr, Osvaldo. <i>Conceitos de Física Quântica</i> , SP:Livraria da Física. 2003.	Conceitos de Física Quântica	b) Pode-se também argumentar que a maior novidade da Teoria Quântica é o papel que a <i>probabilidade</i> nela desempenha, descrevendo um mundo essencialmente "indeterminista". (Pessoa Jr 2003, p.1)	<i>Essência da Física Quântica</i>	
4		Pessoa Jr, Osvaldo. <i>Conceitos de Física Quântica</i> , SP:Livraria da Física. 2003.	Conceitos de Física Quântica	Alguns autores consideram que a essência da Física Quântica é o <i>princípio de incerteza</i> , segundo o qual a posição e o momento de uma partícula não podem mais ser determinadas simultaneamente.(Pessoa Jr 2003, p.1)	<i>Essência da Física Quântica</i>	
5		Pessoa Jr, Osvaldo. <i>Conceitos de Física Quântica</i> , SP:Livraria da Física. 2003.	Conceitos de Física Quântica	Outros, com espírito mais filosóficos, salientam que o que a teoria tem de fundamental é que o <i>observador</i> não pode ser separado do objeto observado. (Pessoa Jr 2003, p.1) O famoso paradoxo do "gato de Schrodinger" parece sugerir que o traço	<i>Essência da Física Quântica</i>	<i>Essência da Física Quântica</i>

Figura 10 - Planilha de Fichamento



L1	A	B	C	D	E	F
1	Cod.	Episódio	Conteúdo Discursivo	Unidade de Significado	Unidade de Teórica	Tempo
2	DSD0101_1	Discussão da Simulação com Prof. D	"Ô professor, a própria reprodução aqui da física, ... nem sempre é a reprodução do próprio experimento original,..."	1. Validade da Simulação	Natureza da Ciência	53:00:00
3	DSD0102_2	Discussão da Simulação com Prof. D	"... 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.	2. Limitação da interpretação	Interpretação FQ	
4	DSD0103_2	Discussão da Simulação com Prof. D	"A ideia que se tem é que vai parar na ideia do físico."	2. Limitação da interpretação	Interpretação FQ	
5	DSD0104_2	Discussão da Simulação com Prof. D	"o programador foi limitado pela visão do físico no experimento, pra gente analisar aqui vai ter a mesma limitação da visão do físico."	2. Limitação da interpretação	Interpretação FQ	53:35:00
6	DSD0105_3	Discussão da Simulação com Prof. D	"por que o físico só enxergou X – fenômeno aqui [apontando para o programa na tela do computador] vai limitar a esse X-fenômeno	3. Observação do Experimento	Observação FQ	53:50:00
7	DSD0106_3	Discussão da Simulação com Prof. D	"...talvez o físico não observou outro fenômeno, outra situação, que aqui não vai poder existir."	3. Observação do Experimento	Observação FQ	
8	DSD0107_5	Discussão da Simulação com Prof. D	<i>Eu entendi que a proposta seria analisar o mesmo experimento e trazer para o meio virtual</i>	5. Compreensão da Atividade	Didática	54:00:00

Figura 11 - Planilha Discursos das Filmagens

Na segunda planilha (Figura 11), temos o conteúdo discursivo correspondente a cada sessão de filmagem. Nela temos a codificação, o nome do episódio, o conteúdo discursivo unitarizado, a identificação da unidade de significado, a unidade teórica correspondente e por fim a indicação do tempo para localizar o episódio analisado. As planilhas estão articuladas entre si pelo recurso do hiperlink colocado nas palavras chaves, que permite uma naveabilidade nos conteúdos. Os códigos identificadores foram criados para facilitar o acesso à origem do diálogo, uma vez que constantemente revisitamos os dados, para refinar a compreensão do todo. Essa codificação será explicada mais à frente na análise dos dados.

O uso da planilha de cálculo auxiliou na fase inicial da pesquisa, e possibilitou identificar unidades de significados, subcategorias e categorias, porém, percebem-se limitações desta no cruzamento de categorias significativas, uma vez que só permite fazer aproximações (links) de uma célula para outra célula. Isso dificulta assim a utilização de unidades de significados



que não se fixavam em uma única categoria: ora era possível encaixar-se numa categoria, ora melhor seria que pertencesse a outra. A escolha por fixá-la em uma dada categoria denotava a perda de análise de questões pertinentes se estivesse em outra, e vice-versa.

4.1 Sujeitos da pesquisa

Participaram dessa pesquisa três turmas do terceiro ano do ensino médio técnico integrado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA). Uma das turmas era do curso de automação industrial do Campus de Salvador e as duas outras dos cursos de eletrotécnica e informática do Campus Camaçari (região metropolitana)⁶. Esses estudantes ingressam na instituição mediante o processo de seleção, através de prova de vestibular e têm como pré-requisito a conclusão do ensino fundamental. Eles estavam na faixa etária coerente, entre 16 e 18 anos, com o nível escolar da série.

Os cursos têm disciplinas técnicas e as básicas do ensino médio de formação geral, as chamadas propedêuticas, distribuídos ao longo dos três ou quatro anos letivos, a depender do projeto pedagógico de cada curso, e em geral, com estágio de formação no quarto ano. Os cursos têm ênfase na carga didática de laboratório devido às necessidades de formação técnica, fazendo com que os estudantes se deparem, em alguns casos, com aplicações técnicas antes mesmo de discutirem os conteúdos nas disciplinas de formação geral. Como, por exemplo, conceitos de eletricidade no início do curso, sendo que

⁶ Ver perfil dos cursos nos anexos.



discutirão eletricidade na física no segundo ou terceiro ano do curso. Lidam também com situações lógicas e linguagens de programação típicas de disciplinas tecnológicas e especialmente dos cursos de informática.

Na primeira etapa da investigação os estudantes estavam em finalização do curso, e a sequência fazia parte da unidade didática do ano letivo corrente. Na segunda etapa, eles já tinham concluído o curso, então reunimos os estudantes em um grupo menor dos cursos de eletrotécnica e informática do Campus Camaçari.



5.0 Investigando a complementaridade dos laboratórios

Tendo como referências os trabalhos de Pessoa Jr. (1997) Ricci, Ostermann e Prado (2007), e Pereira e Ostermann (2009), que propõem a inserção da física quântica a partir da discussão da dualidade onda-partícula da luz utilizando o IMZ, realizamos nossa pesquisa sobre a complementaridade dos laboratórios computacional e convencional com esse tema. Como dito anteriormente, construímos, aplicamos e filmamos duas sequências didáticas; uma utilizando o laboratório de simulação computacional do IMZ e a outra com o laboratório didático convencional do IMZ.

A primeira sequência dessa investigação foi realizada na IV unidade didática, dedicada à introdução da física moderna, com os seguintes conteúdos a serem trabalhados de acordo com o programa da disciplina: a) Relatividade Especial. b) Física Quântica: Teoria dos quanta, Efeito Fotoelétrico, Célula Fotoelétrica e Átomo de Bohr aplicado ao átomo de hidrogênio, Dualidade onda-partícula: a hipótese de De Broglie, Princípio de incerteza, de Heisenberg. c) Física nuclear.

Na segunda sequência como eles tinham concluído os cursos, e, portanto eram ex-alunos do IFBA, formamos um grupo de voluntários, interessados no tema de discussão e através das redes sociais foram convidados e articulados para participarem da atividade.



5.1 Laboratório didático de simulação computacional do IMZ

5.1.1 Sequência didática da simulação do IMZ

Como preparação para a atividade de simulação, realizamos três encontros com as turmas seguindo a descrição abaixo:

A – Encaminhamento da leitura prévia do artigo;

Neste primeiro momento, foi encaminhada para casa a leitura individual do primeiro texto sobre as interpretações acerca da natureza da luz.

B – 1º encontro (2 aulas) Vídeo Dr. Quântico + Discussão do artigo na sala;

Após a leitura do texto, iniciou-se a aula apresentando um vídeo de animação que explora o comportamento do elétron no experimento da fenda dupla. Em seguida foi retomado o texto, agora com as discussões e interpretações feitas pelos estudantes.

C – 2º Encontro (2 aulas) Manipulação do laboratório de simulação computacional do IMZ (aula filmada);

Neste encontro foi apresentada aos estudantes a versão da simulação computacional do IMZ. Uma primeira descrição é feita do material contido na tela inicial do programa, deixando claro todas suas funcionalidades. Em seguida é pedido aos estudantes que explorem o experimento, principalmente, quanto à presença e propriedades dos espelhos semi-reflexivos.

D – Encaminhamento de escrita de resenha crítica sobre IMZ;

Após a manipulação do programa do IMZ, solicitamos aos estudantes a escrita de uma resenha critica ou relatório sobre o experimento. Pedimos a eles



que ressaltassem seus posicionamentos quanto à interpretação da natureza na luz.

Utilizamos como recurso didático o vídeo Dr. Quântico disponível em http://www.youtube.com/watch?v=qAKGCtOi_4o, e o artigo proposto por Pessoa Jr. (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.

5.1.2 Significados construídos no IMZ computacional

Após analisar as filmagens percebemos em alguns grupos de estudantes 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 dois episódios 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 [DSP₁]

[DSP₁E₁_1]⁷ “Ô professor, a própria reprodução aqui da física,... nem sempre é a reprodução do próprio experimento original, [DSP₁E₁_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. [DSP₁E₁_3] A ideia que se tem é que vai parar na ideia do físico. [mediação do Prof.] [DSP₁E₁_4] 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 constituintes de unidade de significado. No primeiro fragmento **[DSP₁E₁_1]** percebe-se que o questionamento está relacionado com a natureza da ciência em particular com a validade da atividade experimental baseada na simulação computacional. Dessa forma, exemplifica a categoria 1 - Validade da Simulação. Essa

⁷ Adotamos o seguinte código: Nome do episódio + Professor + Estudante+discurso+ categoria. Assim temos DSP₁E₁_1, ou seja, o episódio é discussão da simulação com o professor um, onde o estudante um faz seu discurso um dentro da categoria 1.



categoria emergente parte da interpretação com base na intuição analítica do pesquisador sobre os discursos dos sujeitos em processos cílicos de leituras de ida e vinda constantes e diálogo com o referencial teórico.

Tanto o segundo **[DSP₁E₁2_2]** como o terceiro **[DSP₁E₁3_2]** fragmento apresentam uma unidade de significação com respeito à interpretação do Físico com relação à física quântica, mostrando assim a categoria 2 - Limitação da Interpretação. O estudante percebe que sua interpretação deverá ficar limitada à interpretação feita pelo Físico, que auxiliou na construção da simulação computacional, uma vez que foi destacada na sequência didática a possibilidade de existência de pelo menos quatro interpretações muito presentes na física quântica (PESSOA, JR., 2003). Isso possibilitou o estudante a construir significação sobre o papel do Físico na interpretação da dualidade da luz.

A última unidade de análise desse discurso **[DSP₁E₁4_2]** reforça a construção do significado por parte do estudante com referência à limitação das possíveis interpretações pré-determinadas 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.”

A seguir, temos mais um exemplo de episódio com a outra turma na qual foi aplicada a sequência didática. Nesta etapa, os estudantes estavam em pequenos grupos interagindo entre si e com a simulação do IMZ. Neste momento não havia a mediação do professor da turma com esse pequeno grupo.



Episódio Discussão da simulação no grupo na aula do professor 2 [DSGP₂]

[DSGP₂E₁1_1] “Agora quem me garante que isso é verdade?... [Risos do grupo] [DSGP₂E₁2_1] É sério isso aqui é um experimento envolvendo a realidade... quem me garante que isso acontece assim?[apontando para o programa na tela do computador] [DSGP₂E₁3_4] sim eu sei que isso representa a realidade mas quem me garante que se comporta igualzinho aqui?”

As duas primeiras unidades textuais [DSGP₂E₁ 1] e [DSGP₂E₁2 1] questionam a validade da simulação, fazendo referência a uma realidade representada na simulação que pode ser diferente da representação simbólica de uma realidade do fenômeno ao qual ele pensa que existe como referência a essa atividade.

A unidade textual [DSGP₂E₁3_4] mostra a categoria 4 - Limitação da Simulação, uma vez que ele questiona: qual seria a garantia de que a simulação representa o fenômeno estudado?

As unidades textuais dos episódios e o diálogo com os referenciais nos permitem que emergam categorias de análise que buscam compreender os significados construídos sobre a atividade experimental baseada na simulação computacional do IMZ.

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 à FMC, 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 física quântica.

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. Pois os laboratórios baseados na instrumentação e equipamentos físicos são referências importantes na formação de significados dos estudantes e não impõem concepções previamente estabelecidas.

As atividades experimentais do IMZ ampliam as discussões do modelo teórico ao oportunizar um sistema mais simplificado de representação do fenômeno, entretanto não é capaz de fornecer dados empíricos detalhados da mesma forma que uma atividade convencional, portanto trata-se de outra representação da realidade do mesmo fenômeno. E não pode reproduzi-lo com tamanha fidelidade.

Por fim, consideramos que o laboratório baseado em simulação computacional IMZ oferece uma importante oportunidade de discussão e



envolvimento dos estudantes em atividade interativa sem, no entanto, substituir o laboratório convencional, pois ambos podem explorar aspectos diferenciados do mesmo fenômeno numa perspectiva de complementaridade, onde cada modelo afirma concepções acerca do fenômeno estudado, contribuindo assim para a formação de conceitos sobre a dualidade da luz e sobre a natureza da ciência.

5.1.3 A natureza da luz no IMZ computacional

Após a análise das filmagens emergiram significados sobre a natureza da luz e as possíveis interpretações, de tal forma, que as categorias foram organizadas de acordo com as interpretações da natureza da luz discutidas anteriormente.

Então essas interpretações para a natureza da luz constituíram o foco das análises textuais, ou seja, as categorias de significados para luz que vamos analisar coincidem com as propostas por Pessoa Jr. (2012). Lembrando que a interpretação instrumentalista será olhada a título de confirmação de hipótese. Reafirmando, temos:

- 1) Corpuscular para os estudantes que atribuíram à natureza da luz como um corpúsculo assemelhando-se a interpretação corpuscular da luz.
- 2) Ondulatória pois atribui à natureza da luz características ondulatórias e que na sua detecção é que se apresenta como uma partícula.
- 3) Dualista realista para estudantes que atribuíram à natureza da luz com duas partes, partícula e onda associada.



4) Complementaridade para situações onde os estudantes conseguem distinguir dois modos de manifestação da natureza da luz em situações independentes, mas que completam a compreensão da natureza da luz.

5) Instrumentalista – conjunto de interpretações ortodoxas e pragmáticas atribuindo ao tratamento matemático estatístico como responsável pela interpretação, considerando que as outras abordagens são apenas elucubrações filosóficas estéreis (PESSOA JR., 2012, p. 3).

A seguir mostramos um episódio que apresentam as categorias de análises.

Episódio Natureza corpuscular da luz [NCP₂]:

[NCP₂E1_1]... eu estou aqui pensando, não teria como ela ser só um particula não? Por que se ligue, quando a gente colocou aqui é... [aponta para a tela do PC] sem espelho e botou feixe único, a gente começou a ver que ela fazia a mesma descrição ali, de quando tinha o feixe completo, então a possibilidade de ser feixe completo. Se você parar para ver no efeito fotoelétrico ele só se justifica por ela ser particula então ela é obrigatoriamente uma particula para ela ter efeito fotoelétrico. Então ela tem chance de ser particula.

Neste trecho o estudante 1 mostra que no efeito fotoelétrico a natureza da luz é interpretada como partícula. Isso é semelhante ao que ocorreu no experimento da IMZ, quando em determinada situação foi perguntado: “O que acontece se retirarmos o espelho semi-refletor 2 da bancada? Explique a imagem formada nos anteparos”. Neste caso a descrição é a mesma, tanto para o regime ondulatório quanto fotônico então, utilizando-se da sua compreensão sobre o efeito fotoelétrico, o estudante constrói um significado que a luz só pode ser uma partícula. Neste caso temos um exemplo da categoria 1, ou seja, interpretação corpuscular da natureza da luz. Nesta



situação o feixe completo significa com todos os fótons. No último trecho o estudante apresenta um significado de cunho probabilístico, bem característico da FQ, no entanto, apresenta-se como um apelo para confirmar a concepção corpuscular do estudante.

Em outro trecho do episódio o estudante 2 faz a seguinte pergunta ao professor em tom de afirmação:

[P₂NCE21_1] Uma partícula tem uma trajetória esse movimento não pode causar uma onda? Como por exemplo, uma onda sonora.

O estudante 3 faz a seguinte afirmação:

[P₂NCE31_3] É uma partícula em movimento consequentemente uma onda.

O estudante 2, então conclui:

[P₂NCE₂1_3] Eu só consigo entender isso como uma onda-partícula.

Nesse trecho do episódio percebe-se a interpretação dualista realista, pois os estudantes 2 e 3 acabam concordando entre si que a luz tem duas partes, uma partícula que está em forma de onda. Na continuidade da aula o professor destaca que eles estão apresentando a interpretação dualista realista, conforme foi discutido no artigo de Pessoa Jr. (2003) e eles aparentemente concordam com o professor. Em outros trechos desse episódio encontramos também a interpretação ondulatória.



5.1.4 Potencial interativo do IMZ computacional

Além dessas categorias notamos também o grau de interatividade dos estudantes com o programa, de forma bem efetiva, conforme exemplificamos nas Figuras 12 e 13. Na situação, os estudantes discutem em pequenos grupos, onde é solicitada a ajuda do colega, e utilizam o programa como instrumento mediador da comunicação entre eles.



Figura 12 - Interação entre dois estudantes mediados pelo programa



Figura 13 - Interação entre três estudantes mediados pelo programa

Observa-se nas Figuras 12 e 13 que os estudantes envolvidos dispõem de computador para trabalharem de forma individualizada. Entretanto, há um “abandono” das máquinas e eles concentram-se e interagem a partir de uma única máquina para fazerem a discussão do IMZ em pequenos grupos, mostrando assim o potencial interativo do programa como ferramenta cultural mediadora da aprendizagem em colaboração. Neste caso, identificamos a transmissão racional e intencional de experiência e pensamento, oriundas da necessidade de intercâmbio durante o trabalho (VYGOTSKY, 2008, p.7). Além disso, fica bem explícito o papel dos instrumentos culturais como estruturantes da mediação.



5.2 Laboratório didático convencional do IMZ

A segunda etapa da pesquisa consistiu na investigação num laboratório didático de física usando o IMZ. Os recursos necessários diferem substancialmente do laboratório computacional, devido à presença de equipamentos específicos, que em geral atendem apenas à disciplina específica, diferentemente de um laboratório ou sala de informática que pode ser usado para várias disciplinas e diversas atividades. Em muitos casos esse custo inviabiliza a atividade experimental dessa natureza, sendo inclusive um dos argumentos para utilização do laboratório computacional, uma vez que estruturar uma sala de informática para atender diversas situações acaba sendo o encaminhamento mais comum nas escolas. Os custos com recursos técnicos ainda são um dos desafios a serem superados nas atividades de laboratórios convencionais.

Diante dessa realidade, tentamos construir um interferômetro mais acessível ao ensino médio, a partir de sucatas de espelhos e semi-espelhos de um interferômetro de Michelson-Morley. Entretanto, as figuras de interferência que obtivemos não eram provenientes da diferença do caminho ópticos, e sim da difração circular do orifício da caixa do laser, conforme a Figura 14.



Figura 14 - Fenômeno de difração circular



Isso foi identificado, pois ao retirarmos o segundo semi-espelho não deveria formar as figuras de interferência, entretanto isso não aconteceu. Observamos que o feixe de laser para distâncias em torno de 4 a 5 m formava figuras de interferências, mas tratava-se de difração circular do feixe do laser. Esse fenômeno aconteceu também no laboratório convencional do IMZ realizado nessa pesquisa e a discussão desse fenômeno possibilitou mais uma oportunidade de aprendizagem de conceitos anteriores, neste caso de difração da luz.

Mesmo tratando-se do modelo clássico, ou seja, sem o regime monofotônico, nossas investidas para a construção chegaram à conclusão da necessidade de materiais com qualidade óptica, implicando em um custo relativamente significativo⁸.

A atividade foi realizada a partir de um kit didático do IMZ⁹, que reproduz o fenômeno classicamente, ou seja, no regime não monofotônico composto por fonte de laser vermelho, quatro suportes para os espelhos com ajustes horizontais e verticais, e dois espelhos de reflexão total e dois semi-espelhos ou divisores, conforme Figura 15, e as paredes do laboratório como anteparos. Para tornar o IMZ clássico em um quântico é necessário reduzir a intensidade ou potência do feixe do laser, pois assim teremos o regime monofotônico. Além disso, necessitamos de detectores sensíveis que sejam capazes de identificar os fôtons individuais. Isso torna a princípio inviável o regime quântico nos laboratórios didáticos, devido aos custos e complexidade experimental.

⁸ No anexo temos um orçamento dos equipamentos ópticos de um kit do IMZ por empresas nacionais.

⁹ Kit pertencente ao Prof. Osvaldo Pessoa que gentilmente colaborou para realização dessa pesquisa.



Figura 15 - IMZ Didático

Realizamos, no laboratório de física do Campus Camaçari, a segunda etapa da pesquisa empírica que consistiu na filmagem de uma aula de laboratório convencional. Nessa atividade experimental, os estudantes discutiram sobre a dualidade da luz e suas interpretações, como introdução à FQ através do interferômetro de Mach-Zehnder. A questão principal de investigação foi: Qual a natureza da luz, onda ou partícula?



5.2.1 Sequência didática da IMZ convencional

A seguir temos a breve descrição da sequência da aula de laboratório convencional com o IMZ didático:

- 1) Introdução do IMZ - No início da aula de laboratório fizemos a recontextualização da atividade, para inserir os estudantes na situação e no ambiente de pesquisa. Assim, além de relembramos nossa unidade didática, discutimos as características do IMZ a partir do esquema do IMZ (Figura 3), mostrando a finalidade do experimento, bem como suas limitações fenomenológicas como, por exemplo, o fato da fonte de laser ser macroscópica, não permitindo a emissão de fóton único. E apresentamos as cinco interpretações propostas por Pessoa Jr.(2012).
- 2) Identificação dos componentes do IMZ - A partir de um alinhamento pré-ajustado, onde faltava inserir o segundo semi-espelho, foi solicitado aos estudantes que identificassem os componentes do kit, em especial os semi-espelhos e espelhos, evidenciando suas características. Por fim, foi pedido para que eles fizessem um desenho esquemático da situação.
- 3) Alinhamento dos espelhos - Para o experimento ficar completo, faltava inserir o segundo semi-espelho. Para isso os estudantes tiveram que fazer os ajustes para obtenção do alinhamento final fazendo com que os feixes de dois caminhos distintos cruzassem em um mesmo ponto de



observação, uma das paredes do laboratório que servia de anteparo.

Mais uma vez foi solicitado que eles fizessem um desenho esquemático da situação, agora com o IMZ completo.

- 4) Padrão de Interferência – Nesta etapa da aula os estudantes tinham como objetivo observar o padrão de interferência. Após vários ajustes, ficaram satisfeitos com o padrão encontrado. Então, solicitamos um desenho para representar o padrão observado.
- 5) Discussão final – Após a realização dos experimentos, fizemos o fechamento da atividade, retomando a questão central da aula sobre a dualidade da luz e as possíveis interpretações. Neste momento, os estudantes descreveram suas concepções sobre a dualidade da luz, sobre a concordância ou não com umas das cinco interpretações apresentadas na atividade. E finalizaram com algumas reflexões sobre a atividade em si.



5.2.2 Os significados sobre o IMZ convencional

A primeira atividade experimental dos estudantes foi identificar os componentes e propriedades dos objetos na bancada. Analisando as filmagens durante a identificação dos componentes do kit, percebemos que os estudantes levantaram muitas questões sobre as propriedades e características ópticas dos espelhos e semi-espelhos, provocando várias discussões internamente no grupo. Em determinado instante um dos estudantes faz uma observação que todos concordam e confirmam a sua observação.

Episódio dos pontinhos [EP]:

[EPE₁] *Olhando daqui você vê dois pontinhos...*

Outro estudante diz:

[EPE₂] *Aqui eu estou vendo vários pontinhos.*

O professor, então faz o questionamento se algum deles sabe explicar por que existem vários pontinhos? E após algumas tentativas de explicação, sem conclusões claras, o professor explica que nos espelhos há reflexões na superfície externa e também na superfície interna, de tal forma que teremos vários feixes oriundos de um mesmo feixe de incidência. Após esse esclarecimento os estudantes continuam identificando os elementos do IMZ até partirem para atender a solicitação de fazer um desenho esquemático da situação. Um dos estudantes pega papel e lápis e começa a fazer a



representação em voz alta como se estivesse solicitando o auxílio dos demais.

Após algumas intervenções e discussões, eles fizeram dois desenhos esquemáticos, Figuras 15 e 16.

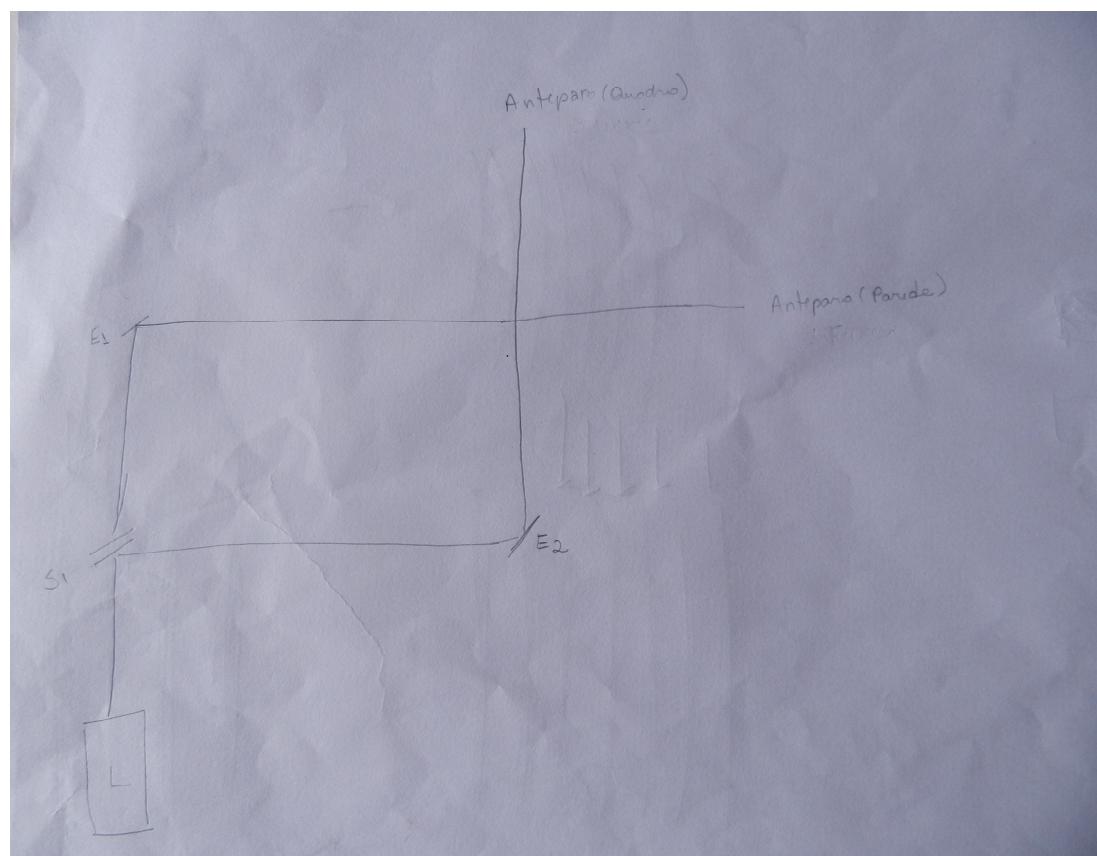


Figura 16 - Desenho Esquemático 1

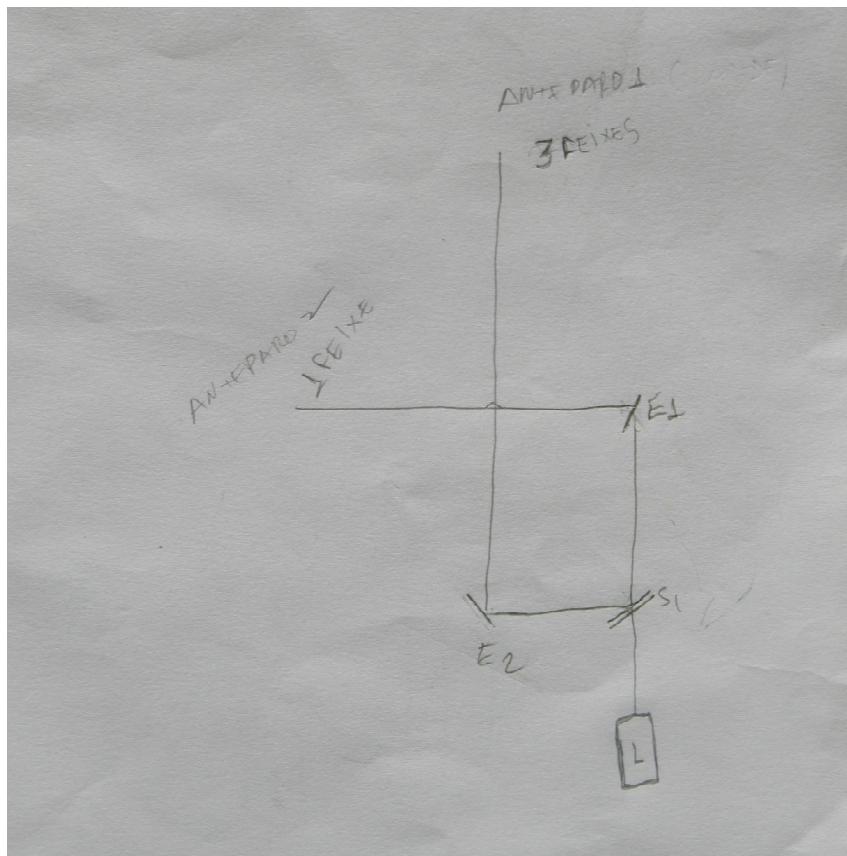


Figura 17 - Desenho Esquemático 2

Os esquemas apresentam apenas um feixe, entretanto no primeiro (Figura 16) não há registro de mais feixes, e no segundo (Figura 17) é registrada por escrito a observação de três feixes chegando ao anteparo. Há também uma inversão da orientação lateral dos desenhos um com o laser L à esquerda e outro na direita. Notamos também que o espelho E_1 está na inclinação errada não apresenta paralelismo com o espelho E_2 .

Seguindo a atividade, era necessário inserir o segundo semi-espelhos. Neste momento foi levantada uma questão para os estudantes: Qual a posição da face desse semi-espelho em relação ao outro? Os estudantes se envolvem na tarefa para resolver essa questão, levantando possíveis soluções e um deles assume a condição de mais “maduro” na discussão, e após solicitação de



colocar as ideias no papel, faz um esquema representado na Figura 17, onde os semi-espelhos apresentam as faces invertidas no esquema. Para isso ele representa com leves riscos circulares na face dos componentes invertidos e faz uma representação numérica da intensidade dos feixes.

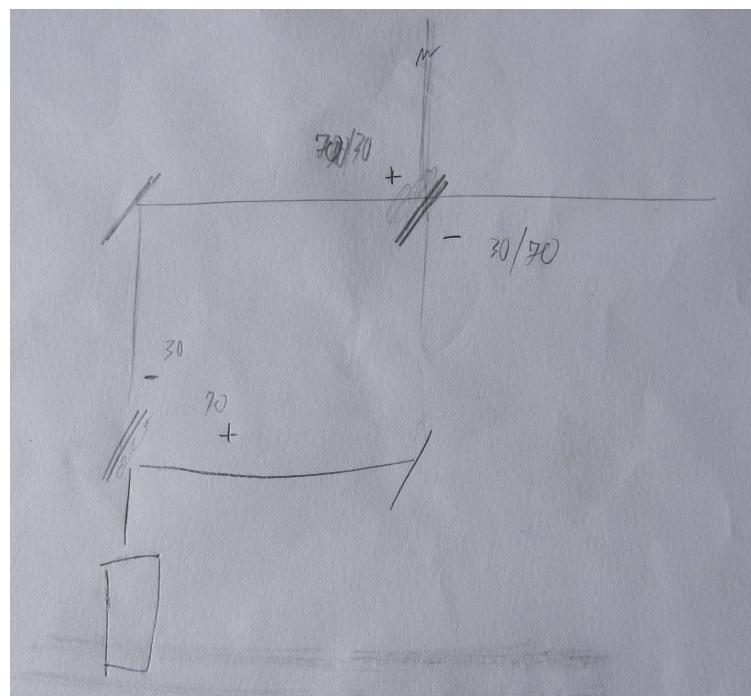


Figura 18 – Desenho do esquema completo do IMZ

Após o alinhamento dos feixes, os estudantes vão discutir sobre a figura observada na parede. Neste momento, realizaram vários ajustes até obterem um alinhamento que resulte num padrão de interferência dos feixes de luz. Os estudantes utilizam papel e lápis para desenhar as figuras observadas na parede.



A seguir temos o discurso do estudante 4 e seu respectivo desenho (Figura 19).

Episódio do Padrão de Interferência [EPI]:

[EPIE₄] *A que eu vi parecia que as linhas tavam assim cortadas, tipo psicoteste, mas o tamanho delas era diferente. Algumas menores outras maiores, eu consigo enxergar assim, [E finaliza o desenho] agora tinha outro problema das linhas horizontais.*

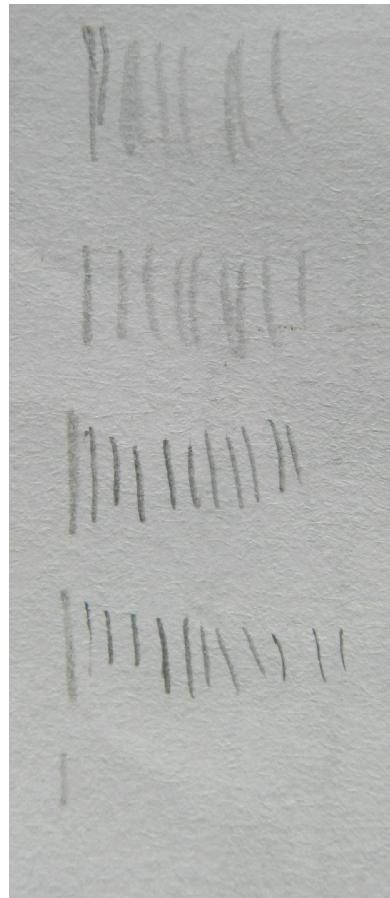


Figura 19 - Padrão de Interferência 1.



O estudante 3 também apresenta seu desenho (Figura 20):



Figura 20 - Padrão de Interferência 2.

Mais um estudante apresenta seu desenho (Figura 21):

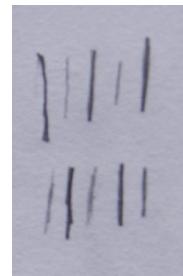


Figura 21 - Padrão de Interferência 3.

Segundo Pereira et al (2012), no interferômetro didático, o padrão esperado das franjas de interferência não é circular, e sim semelhante ao da dupla fenda de Young, ou seja, franjas lineares. Conforme os estudantes viram no vídeo do Dr. Quântico (Figura 22) ou no artigo de Pessoa Jr. (1997) (Figura

23). E, portanto, diferentemente da simulação computacional utilizada, que apresenta um padrão circular.



Figura 22 - Padrão de Interferência da Dupla Fenda (Dr. Quântico)

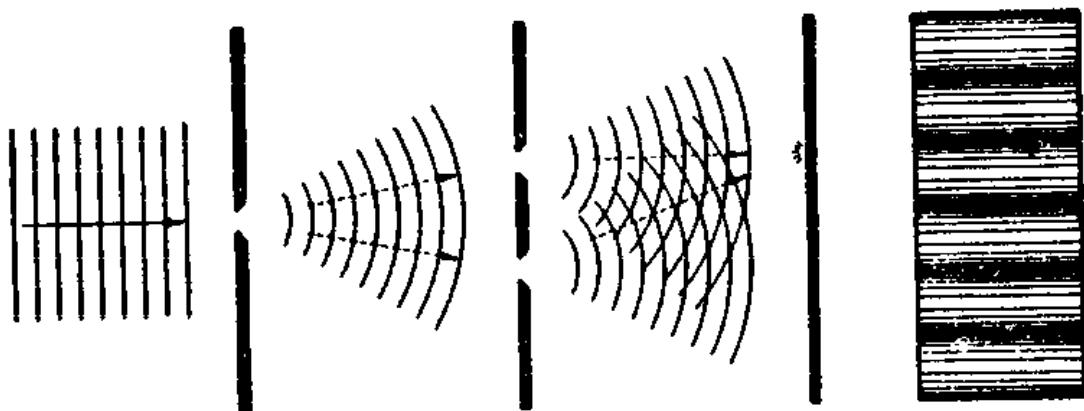


Figura 23 - Experimento da Dupla Fenda (PESSOA JR., 1997, p.28).

Pereira et al (2012) explicam que esse padrão é esperado devido à luz propagar-se como uma onda esférica, e o desalinhamento comum nos



interferômetros didáticos corresponde à interferência de duas fontes como se uma fosse real e a outra virtual, dispostas perpendicularmente ao eixo de propagação que incide no primeiro divisor de feixes. Assim, o resultado é semelhante ao padrão formado no experimento das duas fendas.

A discussão final sobre o experimento é iniciada por uma pergunta do professor aos estudantes: [EDFP₁] *Bom, então o que vocês acharam desse experimento?* A partir dos discursos dos estudantes, temos indicativos sobre os significados construídos por eles sobre a experimentação. Nestes discursos, são ressaltados aspectos da experimentação no laboratório convencional relacionando e comparando com a aula de laboratório utilizando a simulação computacional. Temos a seguir, o episódio da discussão final, onde os estudantes respondem à pergunta do professor.

Episódio da Discussão Final [EDF]

[EDFP₁] *Bom então, o que vocês acharam desse experimento?*

[EDFE₃] *Aqui é melhor do que no computador no caso. No computador aparece tudo certinho.*

[EDFE₂] *Mas acho que é importante ter a aula com o programa, para ter uma noção das coisas, pois acho que se a gente não tivesse tido a aula com o programa a gente ia ficar voando. Facilita bastante, pois ai temos uma noção geral, depois vai para a prática.*

[EDFE₄] *O visualizar da interferência, você ver melhor no computador.*

[EDFP₁] *No computador fica mais...*

[EDFE₄] *bem mais visível.*

[EDFP₁] *Aqui você tem que ter uma...*

[EDFE₂] *Uma percepção boa.*

[EDFE₄] *Tem que ter uma paciência para você conseguir.*



O estudante 3 [EDFE₃], compara as duas atividades e considera melhor a atividade no laboratório convencional, justamente pelas dificuldades encontradas durante a execução do experimentos. Possivelmente a “facilidade” da simulação não foi muito atrativa para ele, pois não constituiu um desafio a ser superado. A superação das dificuldades durante a ação, motivada para a resolução de problemas pode iniciar um processo de formação de conceitos (VYGOTSKY, 2008). Neste caso não estamos focalizando apenas conceitos da dualidade da luz, e sim conceitos de séries anteriores a da prática de laboratório com interferômetro convencional.

No entanto o estudante 2 [EDFE₂], atribui um papel importante de mediação com o programa de simulação do IMZ, por proporcionar uma noção mais geral que serve de preparação para o experimento. Assim, os laboratórios de simulação computacional podem ser realizados com mais flexibilidade e velocidade na execução das situações experimentais, podendo variar o nível de complexidade do fenômeno a ser investigado. Isso é feito incluindo ou excluindo aspectos do fenômeno, tanto do ponto de vista conceitual quanto empírico observacional, adotando condições mais ou menos ideais a depender das necessidades da atividade.

Assim notamos um aspecto importante da complementaridade dos laboratórios: as simulações criam situações experimentais que permitem aos estudantes concentrar-se em conceitos fundamentais de acordo com a proposta da atividade. Desse modo, o professor pode adequar à complexidade das atividades de ensino as necessidades da turma, atuando na ZPD (VYGOTSKY, 2008) dos seus estudantes. Isso potencializa a aprendizagem e



serve de preparação para o laboratório convencional, onde possivelmente enfrentará situações menos idealizadas e, portanto será requisitado de forma mais intensa na solução de problemas, cujos aspectos instrumentais e empíricos são diferentes dos vivenciados com o laboratório computacional.

O estudante 4 [EDFE₄] também mostra no seu discurso que a observação na simulação computacional é bem mais fácil do que no laboratório convencional, pois nesse segundo é necessário mais paciência e percepção dos estudantes. Assim, interpretamos que para o estudante 4 [EDFE₄], o laboratório convencional requisita o desenvolvimento dessas duas habilidades de ordem instrumental, então a facilidade a que ele se refere é do ponto de vista instrumental e não conceitual.

Segundo, temos um episódio que discute justamente a questão conceitual. O professor faz a pergunta comparando a parte conceitual dos laboratórios vivenciados pelos estudantes.

Episódio Diferença Conceitual [DC]

[DCP₁] *Do ponto de vista conceitual há diferença da simulação computacional e os que são discutidos aqui?*

[DCE₂] *Os conceitos são basicamente os mesmos a diferença é a gente perceber que existem os erros do físico na realidade, pois não tem como ser exatamente igual, assim como nos outros experimentos que a gente fez. Às vezes a gente fazia o cálculo e quando via era uma coisa e quando observava tinha diferença.*

[DCE₅] *No computador não dava para perceber a diferença dos semi-espelhos dos espelhos.*

[DCP₁] *Não dava para ver a diferença... aqui parece que aqui vocês discutiram mais.*

[DCE₂] *Faz mais parte, porque aqui a gente tinha que montar, no caso a gente tinha que perceber por causa... Por que das montagens, de tá ali, tá aqui, posicionamento e tal... E a gente participa mais.*



[DCE₄] *E o observador fica aonde nessa prática assim?*

Segundo o estudante 2 [DCE₂] não há diferença conceitual entre os laboratórios. Para ele, existe uma maior idealização na experimentação com a simulação computacional, chegando a comparar com situações idealizadas matematicamente, em que os cálculos não concordam perfeitamente com a realidade empírica.

O estudante 5 [DCE₅] chega a dizer que não era possível perceber a diferença dos espelhos e semi-espelhos. Ou seja, para ele a manipulação dos instrumentos é fundamental para identificar as características dos objetos que fazem parte da experimentação. O estudante 2 [DCE₂] concorda com seu colega, acrescentando a participação na montagem e discussão maior no laboratório convencional.

Por fim, nesse episódio o estudante 4 [DCE₄] solicita um questionamento de ordem filosófica sobre o papel do observador neste experimentos, sendo encaminhado para a discussão sobre as interpretações da natureza da luz.



5.2.3 A natureza da luz no IMZ convencional

No início da atividade, foi retomada a discussão das interpretações sobre a dualidade da luz proposta por Pessoa Jr (1997), constituindo nossas categorias prévias de significados, ou seja; (1) corpuscular ; (2) ondulatória; (3) dualista realista;(4) complementaridade e (5) instrumentalista. Para a investigação do IMZ convencional, adotamos as mesmas categorias utilizadas no computacional.

Episódio Natureza da Luz [NL]:

[NLE₃_3] Eu continuo com a minha opinião, quando você considera um único feixe no caso fóton você tem, ela como uma partícula que carrega energia quando você considera a interação de vários fótons eles vão se comportar... Vão possuir uma característica ondulatória. Quando é um só é partícula quando estuda o comportamento do conjunto do grupo é uma onda, característica de onda.

Analizando esse discurso [NLE₃_3], atribuímos a este estudante a categoria 3 ou seja a interpretação dualista realista. Para ele, a natureza da luz é composta de duas partes bem definidas, a partícula individualizada que é o fóton e a outra uma onda associada ao coletivo. Observamos também nesse discurso que a opinião do estudante sobre a interpretação da natureza da luz não mudou do primeiro experimento, da simulação computacional para esse no laboratório convencional. Assim com o estudante 3, interpretamos que do ponto de vista da ideia da complementaridade os dois laboratórios atuam independentemente como ferramentas culturais e formaram os mesmos significados sobre a natureza da luz. Neste mesmo episódio temos mais um estudante que valida nosso argumento.



[NLE₁_3] Eu continuo pensando como no primeiro experimento, eu fico com a dualidade partícula e onda, eu não consigo separar não, ela se comporta como um e como outra.

Embora o estudante não apresente no discurso uma ideia muito clara da sua interpretação, uma vez que ele apenas concorda com a dualidade da luz sem muito detalhe, mesmo assim atribuímos a ele a categoria 3 dualista realista. O destaque nesse discurso é que, assim como o anterior, ele afirma não ter modificado suas ideias pelo fato de fazer o segundo experimento no laboratório convencional.

[EDFE₂_1] O que eu fico pensando também é se o fóton no caso ele carrega... Se ele está se comportando como matéria ele carrega alguma coisa assim e quando ele se comporta como onda não carrega como é se carga individual é matéria e ele tá em conjunto é onda sendo que a onda seria o conjunto do todo e a onda não carrega matéria. Não sei se deu para entender, entendeu?

Nesse discurso a estudante 2 [EDFE₂_1] está discordando da concepção do seu colega sobre a dualidade da luz, para ele a luz não pode ser onda, pois segundo o modelo clássico, a onda não pode transportar matéria. Então, neste caso o estudante interpreta a situação com base no modelo clássico de onda e partícula. Assim interpretamos que ela está na categoria 1 ou seja, a interpretação corpuscular.

Ainda nesse episódio temos o contra-argumento do estudante 3 defendendo sua interpretação da dualidade.

[EDFE₃_3] No conceito de onda você não precisa ter uma matéria, para que a onda exista. Precisa ter algum fenômeno que transporte energia e quantidade de movimento, por exemplo, então considerando o fóton como um portador de energia, ele pode se comportar como onda.

Ele procura explicar sua interpretação fazendo uma conceituação do fóton como portador de energia. Assim, nessa atividade, de acordo com a



teoria sócio-histórico, o estudante procura estabelecer significado à palavra fóton, a partir da interação com seus colegas usando a comunicação como forma de externar seus pensamentos e de concepções já existentes sobre onda, energia e quantidade de movimento, que servem para o início do processo de formação do novo conceito.

Por fim, nessa investigação, não identificamos as categorias das interpretações da complementaridade e nem a instrumentalista.



6.0 Considerações finais

Exploramos o desenvolvimento de tecnologias pautadas na interatividade, colaboração, velocidade e não localidade, e o intenso debate sobre sua inserção na educação e no ensino de física, com objetivo de aproveitar essas potencialidades na superação dos desafios da prática de ensino. Por outro lado, a simples incorporação não garante as mudanças qualitativas desejadas, assim devemos investigar e estruturar novas metodologias de articulação entre as TIC e as tradicionais tecnologias existentes no contexto didático de física.

Neste trabalho, tais tecnologias são representadas pelos laboratórios convencionais e de simulações computacionais. Investigamos a articulação deles no ensino de física para contribuir na formação de significados por parte de estudantes sobre a natureza quântica da luz, no nível médio.

Uma das possibilidades de articulação foi proposta e investigada neste trabalho, a complementaridade dos laboratórios. Nela cada laboratório apresenta-se independentemente no contexto de ensino sem que um necessariamente prescinda do outro. Entretanto, por causa da necessidade de completude na compreensão do fenômeno, o uso dos dois modelos favorece o ensino e a aprendizagem, fortalecendo a complementaridade dos laboratórios.



Nesta investigação mostramos que a dualidade da luz a partir do IMZ permite introduzir as discussões da FQ no ensino médio de maneira efetiva, ao possibilitar a construção de significados de forma autônoma, em particular sobre as possíveis interpretações do fenômeno estudado. A simulação computacional do IMZ possibilitou interpretações de significados sobre a natureza da luz, em concordância com as aceitas científicamente.

O IMZ tem potencial interativo, pois os estudantes ficam envolvidos de forma concentrada na resolução de problemas durante a atividade. E através da linguagem verbal, trocam significados e solicitam a colaboração tanto dos colegas quanto do professor, parceiros mais experientes, no intuito de compreender os fenômenos simulados no programa.

Durante a experimentação computacional ou convencional do IMZ, percebemos que os estudantes apresentam significados sobre a interpretação da natureza da luz; corpuscular, ondulatória e dualista realista. Entretanto, não identificamos as interpretações da complementaridade e a instrumentalista. Possivelmente essas interpretações apresentem-se em formação nas estruturas mentais dos estudantes. Porém, as sequências didáticas necessitam aprimorar as estratégias no sentido de explorar outros recursos, com nível de complexidade mais elevado. Isso requer uma abordagem na experimentação do IMZ utilizando, como por exemplo, a inserção dos filtros polarizadores, para que sejam criadas situações investigativas que propiciem a interpretação da complementaridade da luz. Com relação à interpretação instrumentalista, chegamos à conclusão que dificilmente será construída, no contexto do ensino médio, uma vez que este não tem como objetivo a formação específica de



cientistas e, portanto, não tem o formalismo matemático necessário para essa interpretação.

Por fim, consideramos muito proveitosa a utilização da simulação do IMZ nas aulas do ensino médio. Mostramos neste trabalho que é necessário também realizarmos o experimento convencional do IMZ, mesmo que no regime ondulatório clássico, de forma a completar aspectos diferenciados da simulação como, por exemplo, o papel da observação na interpretação da natureza da luz, o problema da escala visual, a dificuldade na manipulação de objetos físicos e as limitações didáticas da experimentação. Assim, potencializa-se a atividade da simulação computacional com a abordagem de elementos empíricos táteis.

Com o experimento do IMZ, foi possível investigar a complementaridade dos laboratórios, onde percebemos que ambos apresentam contribuições independentes e complementares, e são consistentes por si mesmos. O uso dos dois enriquece aspectos diferenciados do mesmo fenômeno, portanto potencializam a aprendizagem de conceitos.

Na análise dos episódios, concluímos que os estudantes envolvidos na investigação construíram significados sobre a limitação e validade da simulação. Eles atribuíram que o papel do programador e sua interpretação sobre a natureza da luz implicam em limites e possibilidades que orientam o programa de simulação. Para eles, 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 deles. Assim a inserção das



tecnologias de simulação computacional não substitui o laboratório convencional, porque os laboratórios baseados na instrumentação e equipamentos físicos são referências importantes na formação de significados dos estudantes. E apresentam situações durante a sua realização que requerem dos estudantes envolvimento no processo de forma a requisitar a formação de conceitos.

No laboratório de simulação computacional, os estudantes experimentam o IMZ no regime clássico e monofotônico, e têm facilidade na observação dos fenômenos de interferência pelos aspectos visuais e velocidade nas relações de causa e efeito. Mas, segundo eles, é tudo muito “certinho”: os alinhamentos estão pré-estabelecidos pelo programa e a manipulação operacional é simples, não requisitando ações psicológicas para resolver problemas instrumentais tão intensos quanto no do laboratório convencional. A simulação computacional, ao apresentar um modelo mais idealizado, embora com a possibilidade da abordagem quântica, exclui distorções comuns na atividade experimental. Não foram incluídas na programação por exemplo; desalinhamentos no espelhos, reflexões múltiplas nas faces dos espelhos, redução das intensidades refletidas e transmitidas diferenciadas, que não são notadas na simulação computacional. No IMZ convencional essas evidências experimentais foram observadas e discutidas por eles. Portanto, exigiu todas as funções intelectuais básicas para a formação de significados sobre os fenômenos.

As discussão da validade e generalizações do modelo físico utilizado em determinado contexto de aplicabilidade pode ser fomentada quando



provocamos um confronto entre o modelo da simulação e o convencional, gerando reflexões das limitações de ambos, evitando assim possíveis equívocos epistemológicos.

Percebemos que a complementaridade é relevante para articulação dos laboratórios no ensino de física. A discussão do IMZ para o ensino médio é uma possibilidade de inserção da FQ e de articulação dos laboratórios, pois notamos que os estudantes construíram significados tanto sobre a natureza da luz quanto da simulação computacional. Isto também ocorreu no IMZ convencional. No entanto, uma questão relevante sobre o IMZ convencional é seu custo relativamente alto para o contexto escolar, o que pode impor uma adesão ao laboratório computacional.

A teoria sócio-histórica de Vygotsky fundamenta as atividades de complementaridade. Neste contexto, o programa de simulação do IMZ atua como ferramenta cultural, regulando as atividades dos estudantes bem como o IMZ convencional. Um pode servir de preparação para o segundo, em possibilidades de articulação em outras formas diferentes da complementaridade, mas que é necessário à investigação.

Do ponto de vista empírico, temos a discussão da complementaridade dos laboratórios com professores de física que atuam nas redes públicas municipais, estadual e federal do ensino médio. Constitui outro foco importante de investigação que pretendemos fazer após a finalização desse doutoramento.



7.0 Referências

ALVES FILHO, J. P.. Regras da transposição didática aplicadas ao Laboratório didático **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**: Florianópolis, v. 17, n.2, p.174-188, ago. 2002.

BARBETA, V. B. **Recursos de Simulação em computador em aulas de Física para Engenharia**. Fundação de Ciências Aplicadas, 1996.

BAUMAN, Zygmunt . **Modernidade Líquida**. Título Original: Liquid Modernity. Tradução: Plínio Dentzien, autorizada da edição inglesa publicada em 2000 por Polity Press, Oxford, Inglaterra. Jorge Zahar Editor, 2001.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto, 1994.

BONILLA, M. H.. **Concepções do uso do computador na educação**. Ijuí: Ijuí, 1995.

_____. **Escola Aprendente: para além da Sociedade de Informação**. Rio de Janeiro: Quartet, 2005. 224 p.

BORGES, A. a. Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**: Florianópolis, v. 24, edição especial, p.9-30, nov. 2004.

BORN, M.. **Física Atômica**. Tradução de Egídio Namorado. 4^a edição Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1969.

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**, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 298-316, dez. 2001.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. As práticas experimentais no ensino de Física. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de et al. (Coord.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 53 – 78.

CASSINI, S.H.B.;ZAGO,M.M.F. A **análise de dados qualitativos: a experiência no uso do “The Etnograph”** . Acta Paul. Enf. , São Paulo, v.10, n.1, p. 100-106, 1997.



CHARMAZ, K. **Constructing grounded theory: a practical guide through qualitative analysis.** London: Sage, 2006.

COELHO, R. O. **O uso da informática no ensino de física de nível médio.** Universidade Federal de Pelotas. - Pelotas, 2002.

CRESWELL, J. W. **Qualitative o inquiry & research design: choosing among Five approaches.** Thousand Oaks: Sage, Chapter 8, p. 147-176. 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. Governo Federal. **Banco Internacional de Objetos educacionais.** 2008. Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

DAVIES, C H J - **Student engagement with simulations : a case study –** Computer & Education, v. 39, p. 271, 2002.

DIAS, N.L; PINHEIRO, A.G; BARROSO, G.C. - Laboratório Virtual de Física Nuclear. **Revista Brasileira do Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 232 – 236 Jun. 2002.

DORIA, M. M.; MARINHO, F. C.. **Ondas e Bits.** (Temas atuais de física). São Paulo: livraria da Física - SBF, p. 127, 2006.

DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I.S. E VEIT, E.A.. Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral. **CIÊNC. EDUC. (BAURU) [ONLINE]**. 2012, VOL.18, N.1, PP. 99-122.

FIGUEIRA, J. S. **Easy Java Simulations. Modelagem Computacional para o Ensino de Física.** Revista Brasileira do Ensino de Física, São Paulo, v. 27, nº 4, p. 613 – 618 Ago. 2005.

FREIRE JR, O. The Research on the Foundations of Quantum Mechanics and its Implications on Physics Teaching. **IACPE - X InterAmerican Conference on Physics Education.** Instituto de Física, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2009.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido.** 17^a ed., Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GALIAZZI, Maria do Carmo. **Educar pela pesquisa: ambiente de formação de professores de Ciências.** Ijuí: Unijuí, 2003.

GEHLEN, Simoni Tormöhlen. **A função do problema no processo ensino-aprendizagem de Ciências: Contribuições de Freire e Vygotsky.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis. 2009.



GIORDAN, Marcelo. **Computadores e linguagens nas aulas de ciências: Estudos socioculturais e a Teoria da Ação Mediada.** Ijuí: Unijuí, 2008.

GIL-PÉREZ, D. et al. Papel de la Atividade Experimental en la Educación Científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, n. 2: p. 157-181, ago. 2006. Disponível em: < <http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/publica.html>>. Acesso em: 22 ago. 2009.

GONÇALVES, Fábio Peres; MARQUES, Carlos Alberto. Contribuições pedagógicas e epistemológicas em textos de experimentação no ensino de química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 2, p. 219-238, 2006.

GRECA, I. M & FREIRE JR., O. Metting the challenge: Quantum physics on introduction physics courses. **Michael Matthews (ed.), History, Philosophy and Science Teaching Handbook, Springer, forthcoming**, 2012.

HALMENSCHLAGER, K. R. **Abordagem temática: análise da situação de estudo no ensino médio da EFA.** 162 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

HEIDEMANN, L. A. ; ARAUJO, I. S. ; VEIT, E. A. . Atividades experimentais, computacionais e sua integração: crenças e atitudes de professores no contexto de um mestrado profissional. In: XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2010, Águas de Lindóia. **Anais do XII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2010.

HODSON, D. Hacia un enfoque, más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, Vol. 12, Nº 3, pags. 299-313, 1994.

HOHENFELD, D.P., PENIDO, M.C. Laboratórios convencionais e virtuais no ensino de Física. **Anais do VII ENPEC** – Florianópolis, 2009, SC.

JAAKKOLA, T., & NURMI, S.. Fostering elementary school students understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 24, n. 4, p. 271-283. 2008.

LEMOS, André. **Ciber Socialidade.** Tecnologia e Vida Social na Cultura Contemporânea. Práticas Discursivas na Cultura Contemporânea (Rubim, A .; Bentz, I.; Pinto, M. orgs.). São Leopoldo: Unisinos, 1999, pp.9-22.

LEMOS, A.; JOSGRILBERG F. (Org.) **Comunicação e mobilidade: aspectos socioculturais das tecnologias móveis de comunicação no Brasil.** Salvador: EDUFBA, 2009.

LÉVY, Pierre. **As tecnologias da Inteligência;** Tradução de Carlos Irineu da Costa. – Rio de Janeiro: Ed. 34, 1998.

_____. **O que é virtual?** Trad. Paulo Neves. São Paulo, Ed. 34, 1996.



MAGALHÃES, M.G.M.; SCHIEL, D.; GUERRINI, I.M.; MAREGA, E. **Utilizando Tecnologia Computacional na Análise Quantitativa de Movimentos: Uma Atividade para Alunos do Ensino Médio.** Revista Brasileira do Ensino de Física, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 97 – 102 , Jun. 2002.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias: Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física.** V. 24, nº 2; p.77 – 86, Jun/2002.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, 9 (2), p. 191-211, 2003.

MORAES, R.; GALLIAZZI, M.C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces **Ciência & Educação**, v. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.

_____. **Análise Textual Discursiva.** Ed. Unijuí, 2011.

MILES, M.B.; HUBERMAM, A.M. **Qualitative Data Analysis.** London: Sage, 1994

MORTIMER, Eduardo Fleury. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: Para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p.20-39, 1996.

MÜLLER, R.; WIESNER, H. Teaching quantum mechanics on an introductory level. **American Journal of Physics**, New York, v. 70, n. 3, p. 200-209, mar. 2002.

OSTERMANN, F. e RICCI, T.S.F. Conceitos de Física Quântica na formação de professores: relatos de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 1, 9-35, 2005.

OSTERMANN F., PRADO S.D. e RICCI T.S.F. Investigando a aprendizagem de professores de física acerca do fenômeno da interferência quântica, **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 35-54, 2008

PELLA, M. O. The laboratory and Science Teaching. In: ANDERSEN, H. O. **Reading in Education for the Secondary School.** Londres: The Macmillan Company, 1969.

PEREIRA, A. P. de ; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências** (Online), 14, 393-420, 2009.



PÉREZ, Daniel Gil; CARRASCOSA, Jaime; VALDÉS, Pablo. Papel de la actividad experimental en la educación científica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 23, n. 2, p.157-181, ago. 2006.

PÉREZ, D.G; MONTORO,I.F; ALIS, .C;CACHAPUZ,A; PRAIA,J – Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Revista Ciência & Educação**, vol 7 no2, p. 125 – 153, 2001

PESSOA, JR. Osvaldo. Interferometria, Interpretação e Intuição: Uma Introdução Conceitual a Física Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 19, n. 1, março, 1997.

_____. **Conceitos de Física Quântica**, Livraria da Física, São Paulo, 2003.

_____. **Interpretações básicas da teoria quântica: Einstein estava errado, no argumento de EPR?** São Paulo, 2012.

PETTRI, J.; NIEDDERER, H. A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n. 9, p. 1075-1088, nov. 1998.

PIETROCOLA, M.. **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001.

_____. A transposição da física moderna e contemporânea para o ensino médio: superando obstáculos epistemológicos e didático-pedagógicos. In: Regina Borges. (Org.). **Propostas Interativas na Educação Científica e Tecnológica**. Porto Alegre: EDUC, p. 159-180, 2008.

PIETROCOLA, M. et al. **Física em contextos**: pessoal, social e histórico. São Paulo: FTD, 2010.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7-34, abr. 1999.

RICCI, Trieste ; OSTERMANN, F. ; PRADO, Sandra . 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, 2007.

ROSA, P. R. S, O Uso de Computadores no Ensino de Física. Parte I: Potencialidades e Uso Real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, vol.17, n. 2 p.182-195, 1995



SCHILLER, C.. **The adventure of physics – The Quantum of Change** (Vol. IV). Motion Mountain, 2012. Disponível em <www.motionmountain.net>.

SEGRÈ, E. **Dos Raios-x aos Quarks**. Tradução de Wamberto Ferreira. Ed. UNB. Brasília, 1987.

STEFANEL, A. Una experiencia en el marco de la introducción de la física cuántica en la escuela secundaria. **Revista de Enseñanza de la Física**, Córdoba, v. 11, n. 2, p. 35-44, 1999.

TEODORO, V. D.. **Modellus: Learning Physics with Mathematical Modelling**. 229 f. Tese (Doutor) - Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2002.

_____. Modelação no ensino da física: seis idéias básicas. **XV SNEF Simpósio Nacional do Ensino Física**. Curitiba: CEFET-PR, 2003. p. 2333 – 2342. CD-ROM 1.

TERRAZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

_____. **Perspectivas para inserção da Física Moderna na escola média**. Tese de doutorado. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

VASCONCELOS A, F.H.L., CARVALHO, R.O., ROMEU,M.C., SANATANA, J.R., NETO,H.B., **A utilização de software educativo aplicado ao ensino de Física com o uso da modelagem**, Fortaleza, CE, XVI Simpósio nacional de ensino de Física - UFC Artigo, 2003.

VEIT, E.A., **Modelagem computacional no Ensino de Física**, Porto Alegre, RS, Instituto de Física, UFRGS , XVI SNEF, 2005.

VYGOTSKY, Lev Semenovitch. **Pensamento e Linguagem**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

WOLFGRAM, D. E., **Criando em Multimídia**, Ed. Campus, Rio de Janeiro, 1994.

ZACHARIA, Z.. Comparing and combining real and virtual experimentation: an effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 23, n. 2, p. 120-132. 2007.



8.0 Apêndices e Anexos



Artigos analisados da Revista Brasileira de Ensino de Física

AGUIAR, C.E.. **Óptica e geometria dinâmica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 3, 2009. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/313302.pdf>

ARAUJO, Ives S.; VEIT, Eliane A.; MOREIRA, Marco A.. **Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da Cinemática.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 2, 2004. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/031201.pdf>

BARROSO, Marta F.; BORGO, Igor. **Jornada no Sistema Solar.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 32, n. 2, 2010. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/322502.pdf>

BETZ, Michel; LIMA, Ismael de; MUSSATO, Gabriel. **Dualidade onda-partícula: um objeto de aprendizagem baseado no interferômetro de Mach-Zehnder.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 3, 2009. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/313501.pdf>

CAMILETTI, Giuseppe; FERRACIOLI, Laércio. **A Utilização da Modelagem Computacional Semiquantitativa no Estudo do Sistema Mola-Massa.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 24, n. 2, 2002. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v24_110.pdf

CARLIN, N.; SZANTO, E.M.; JORGE, F.O.; SEALE, W.A.; SOUZA, F.A.. **Estudo experimental do movimento de partículas carregadas em campos elétricos e magnéticos: seletor de velocidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 2, 2009. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/312308.pdf>

DIAS, N. L.; PINHEIRO, A. G.; BARROSO, G. C.. **Laboratório Virtual de Física Nuclear.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 24, n. 2, 2002. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v24_232.pdf

DORNELES, Pedro F.T.; ARAUJO, Ives S.; VEIT, Eliane A.. **Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: Parte I - circuitos elétricos simples.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, 2006. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/050704.pdf>

FIGUEIRA, Jalves S.. **Easy Java simulations - Modelagem computacional para o ensino de Física.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 4, 2005. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v27_613.pdf



GOMES, Thiéberson; FERRACIOLI, Laércio. **A investigação da construção de modelos no estudo de um tópico de Física utilizando um ambiente de modelagem computacional qualitativo.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, 2006. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/051106.pdf>

JUNIOR XAVIER, Ademir L.. **Modelagem computacional em problemas de eletrostática: efeito de campos de borda em capacitores cilíndricos finitos.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, 2007. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060905.pdf>

MACHADO, D.I.; NARDI, R.. **Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 4, 2006. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060401.pdf>

MAGALHÃES, Mônica G. Menezes de; SCHIEL, Dietrich; GUERRINI, Iria Muller; JUNIOR MAREGA, Euclides. **Utilizando Tecnologia Computacional na Análise Quantitativa de Movimentos: Uma Atividade para Alunos do Ensino Médio.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 24, n. 2, 2002. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v24_97.pdf

MEIRELLES, Saulo; CARVALHO, Nelson Violante. **Modelagem computacional da propagação de ondas superficiais no oceano: um subsídio para a compreensão dos fenômenos ópticos.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 4, 2007. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/070102.pdf>

RICCI, Trieste Freire; OSTERMANN, Fernanda; PRADO, Sandra Denise. **O tratamento clássico do interferômetro de Mach-Zehnder: uma releitura mais moderna do experimento da fenda dupla na introdução da física quântica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, 2007. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060602.pdf>

SILVA, Josiel R.; GERMANO, José S.E.; MARIANO, Roni S.. **SimQuest - ferramenta de modelagem computacional para o ensino de física.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 2011. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/331508.pdf>

SILVA, Wilton P. et al. **Apresentação do Software Educacional " Vest21 Mecânica".** Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 24, n. 2, p.221-231, jun. 2002. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v24_221.pdf

SOARES, Reginaldo R.; BORGES, Paulo de F. **O plano inclinado de Galileu: uma medida manual e uma medida com aquisição automática de dados.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 32, n. 2, 2010. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/322501.pdf>



SOUZA, Anderson R. de; PAIXÃO, Alexsander C.; UZÊDA, Diego D.; DIAIS, Marco A.; DUARTE, Sergio; AMORIM, Hélio S. de. **A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 2011. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/331702.pdf>

NETO, Jader da Silva; OSTERMANN, Fernanda; PRADO, Sandra Denise. **O tema da dualidade onda-partícula na educação profissional em radiologia médica a partir da simulação do interferômetro de Mach-Zehnder.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 2011. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/331401.pdf>

VEIT, Eliane A.; DORNELES, Pedro F.T.; ARAUJO, Ives S.. **Simulação e modelagem computacionais no auxílio na aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade. Parte II - circuitos RLC.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 3, 2008. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/303308.pdf>

VISCOVINI, Ronaldo Celso; LOPES, Nilson Benedito; PEREIRA, Daniel. **Desenvolvimento de software de análise gráfica para planos de radioproteção.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 2011. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/331505.pdf>

WERLANG, Rafael Brum; SCHNEIDER, Ruth de Souza; SILVEIRA, Fernando Lang da. **Uma experiência de ensino de física de fluidos com o uso de novas tecnologias no contexto de uma escola técnica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 2008. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/301503.pdf>

YAMAMOTO, Issao; BARBETA, Vagner Bernal. **Simulações de Experiências como Ferramenta de Demonstração Virtual em Aulas de Teoria de Física.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 23, n. 2, 2001. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_215.pdf



Fotos da reprodução do IMZ clássico



Figura 24 - Reprodução do IMZ didático (vista frontal)



Figura 25 - Reprodução do IMZ didático (vista superior)



Orientações do laboratório de simulação

INVESTIGANDO A NATUREZA DA LUZ

Nesta atividade experimental iremos investigar a natureza da luz para isso iremos utilizar uma simulação computacional. Através de um software, tipo bancada virtual, que simula o interferômetro de Mach-Zehnder (Ostermann et al., 2006). O interferômetro de Mach-Zehnder¹⁰ é um arranjo experimental capaz de demonstrar o fenômeno de interferência a partir da divisão de um feixe luminoso que percorre caminhos ópticos distintos. Neste interferômetro, o fenômeno de interferência é causado por uma diferença de fase introduzida por uma combinação de espelhos e semi-espelhos. E tem por base a propriedade da onda que ao incidir no meio de maior densidade ela é refletida de forma invertida. Segundo Pessoa Jr (1997), a Física Quântica pode ser introduzida estudando-se o interferômetro de Mach-Zehnder para um fóton único. Sendo assim, nesta simulação, procuramos desenvolver uma intuição inicial sobre a natureza da luz em situações experimentais, permitindo que se desenvolva os primeiros passos sobre a física quântica.

Material Necessário:

Interferômetro Virtual Mach-Zehnder (IMZ) disponível em
www.if.ufrgs.br/~fernanda/IMZ

Laboratório de Informática

O que iremos investigar:

Qual a natureza da luz onda ou partícula?

Perguntas operacionais:

- 1) Ajustando no painel de controle o idioma de sua preferência (Fig. (1)) e passando o cursor do mouse sobre a bancada virtual responda qual são os dispositivos que compõe o experimento? Indique-os na Fig. (2).

¹⁰ Tal experimento foi construído inicialmente por Ernst Mach (1838 – 1916). Aqui será simulado virtualmente por um aplicativo desenvolvido pelo grupo de pesquisa em da UFRGS sob coordenação da Prof. Dra. Fernanda Ostermann.

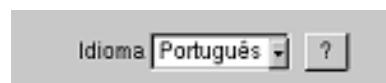


Fig.(1) _ Seleção do Idioma

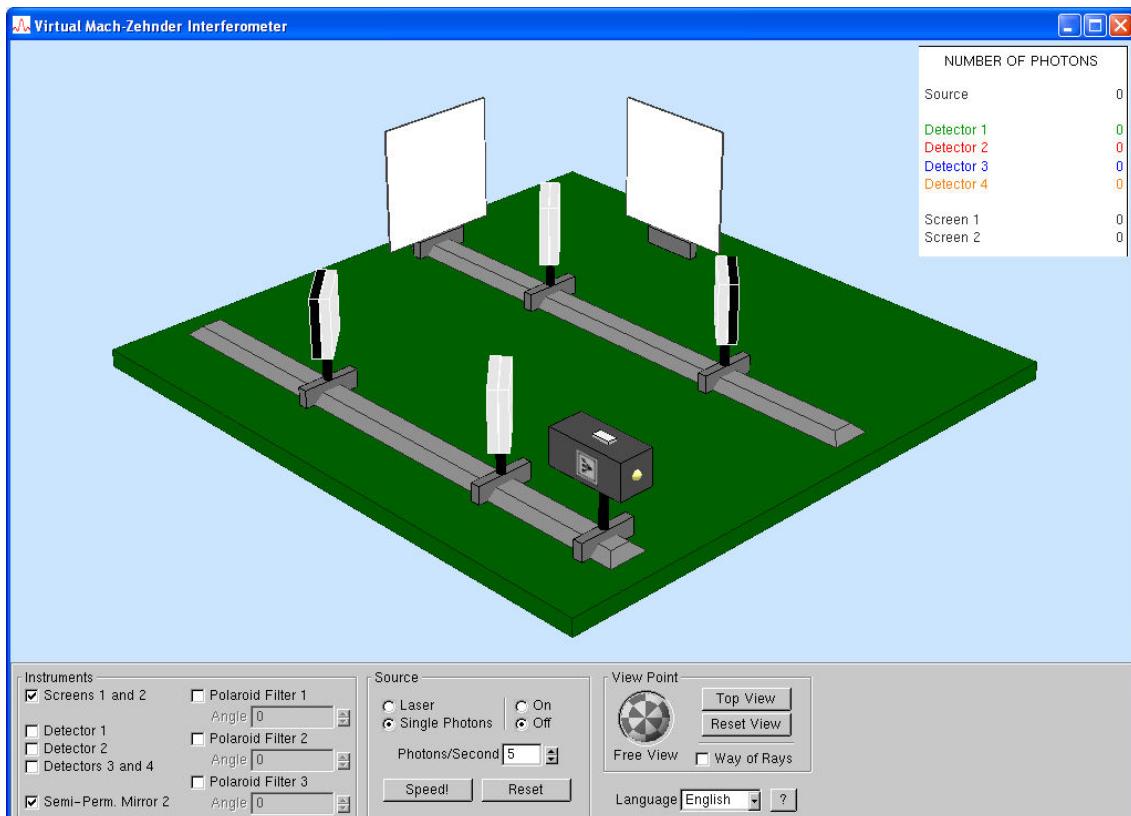


Fig.(2) _ Banca do IMZ

- 2) Coloque no painel de controle ver feixes Fig.(3), qual a diferença entre os espelhos? O que acontece com a trajetória do feixe de Luz ao passar por cada um deles?



Fig. (3) _ Trajetória dos feixes

- 3) Com a fonte ajustada para laser e depois fótons únicos de luz. O que se esperava ver nos anteparos? Como se explica as imagens vistas nos anteparos para cada situação?

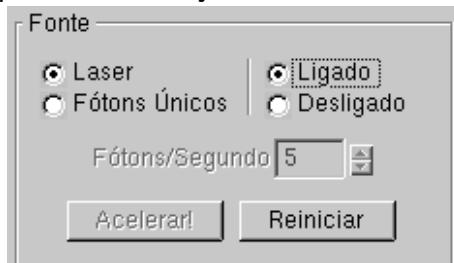


Fig.(4) – Fonte ajustada para laser

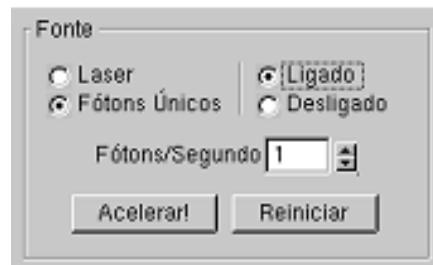


Fig.(5) – Fonte ajustada para Fótons únicos

- 4) O que acontece se retirarmos o espelho semi-refletor 2 da bancada? Explique a imagem formada nos anteparos?



Fig. (5) – Retirando o espelho semi-refletor

- 5) Neste experimento, quais as evidências que a luz tem um comportamento corpuscular? E ondulatório?
 6) Por fim responda o problema principal dessa atividade experimental:

Qual a natureza da luz onda ou partícula?

Referências:

OSTERMANN, F.; PRADO, S. D.; RICCI , T. S. F. Desenvolvimento de um software para o ensino de fundamentos de física quântica. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 22-25, maio 2006.

PESSOA, JR. Osvaldo. Interferometria, Interpretacão e Intuição: Uma Introdução Conceitual a Física Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 19, n. 1, março, 1997.

ROCHA, José Fernando (org.). **Origens e Evolução das idéias da Física**, EDUFBA- 1^a Edição, Salvador, 2002.



Qual a natureza da luz, onda ou partícula?

Nessa atividade experimental iremos investigar a natureza da luz para isso iremos utilizar o interferômetro de Mach-Zehnder (IMZ). O IMZ é capaz de demonstrar o fenômeno de interferência a partir da divisão de um feixe luminoso que percorre caminhos ópticos distintos. O fenômeno de interferência é causado por uma diferença de fase introduzida por uma combinação de espelhos e semi-espelhos. E tem por base a propriedade da onda que ao incidir no meio de maior densidade ela é refletida de forma invertida.

Segundo Pessoa Jr (1997), a física quântica pode ser introduzida a partir da discussão do IMZ. Sendo assim, nesta investigação, procuramos desenvolver uma intuição inicial sobre a natureza da luz em situações experimentais, permitindo que se desenvolvam os primeiros passos sobre a física quântica. Nesse experimento teremos o IMZ didático, ou seja, no regime clássico, pois não há emissão de fôtons únicos, onde se tem o regime chamado monofotônico.

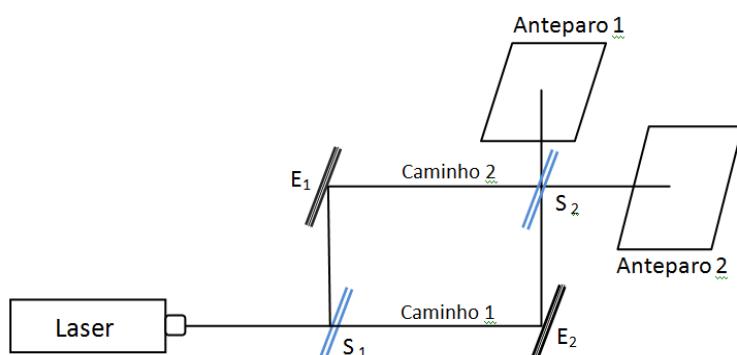


Figura 1: Esquema do IMZ

A partir desse esquema, identifique os componentes que fazem parte do kit disponível em sua bancada.

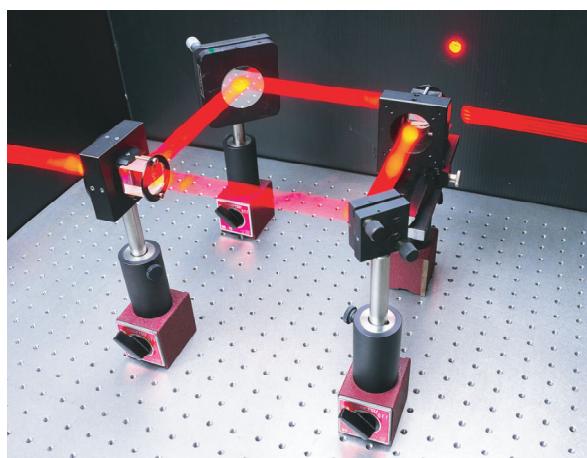


Figura 2 - Trajetória dos feixes de luz no Interferômetro de Mach-Zehnder

Interpretações da Física Quântica:

(1) Ondulatórias Realistas. Este ponto de vista considera que a função de onda quântica corresponde a uma realidade ondulatória, “borrada”, ou talvez uma “potencialidade”. Numa versão ingênua da interpretação ondulatória, a realidade que corresponde à função de onda sofreria colapsos toda vez que ela interage com um aparelho de medição.

(2) Realistas dos Coletivos. Este é o ponto de vista segundo o qual o estado quântico não descreve partículas individuais, mas sim o coletivo estatístico. Nesta interpretação realista as entidades microscópicas são partículas, sem uma onda real associada: as franjas de interferência que observamos seriam consequência das leis de propagação quânticas, regidas pela mecânica ondulatória, mas não haveria uma onda real.

(3) Dualistas Realistas. Esta interpretação foi formulada originalmente por Louis de Broglie, em sua teoria da “onda piloto”, e ampliada por David Bohm (1952) para incluir também o aparelho de medição. O objeto quântico se divide em duas partes: uma partícula com trajetória bem definida (mas em geral desconhecida), e uma onda associada.

(4) Complementaridade. A interpretação desenvolvida por Niels Bohr entre 1928 e 1935, conforme o experimento podemos usar uma descrição corpuscular, ou uma ondulatória, mas nunca ambas ao mesmo tempo.

(5) Instrumentalistas dos Coletivos. A atitude mais comum entre os físicos, que pode ser enquadrada no conjunto de interpretações “ortodoxas”, caracterizado jocosamente como a atitude do tipo “cala boca e calcula”.

Em poucas palavras, o que caracteriza a Teoria Quântica de maneira essencial é que ela é a teoria que atribui, para qualquer partícula individual aspectos ondulatórios, e para qualquer forma de radiação aspectos corpusculares. (Pessoa Jr., 2003, p. 1).



QUESTÕES OPERACIONAIS:

1. A partir do esquema da figura 1 identifique os componentes do IMZ.
2. Quais as diferenças que seu grupo observa nas propriedades dos espelhos e semi-espelhos? Faça um desenho ou esquemas para explicar o comportamento desses componentes.
3. Observe os caminhos dos feixes de luz, nos anteparos há encontro de feixes provenientes de caminhos distintos? Justifique, faça esquemas e desenhos para explicar.
4. O que deve acontecer com a intensidade do feixe que inicialmente saiu do laser e encontrar no seu trajeto espelhos e semi-espelhos? Explicar para cada componente o que acontece.
5. Considerando que a fonte de laser esta no regime clássico ondulatório, ao passar pelos espelhos e semi-espelhos deve haver alguma inversão de fase no feixe? Por que?
6. Quando os feixes de caminhos distintos encontram-se nos anteparos estão com em fase ou defasados? Qual fenômeno poderá acontecer no encontro dos feixes?
7. Com ajuda do professor faça os feixes encontrar-se nos anteparos. Observe a figura formada nele. Como se explica as imagens vistas nos anteparos? Faça um desenho e procure explicar por que essa figura é formada.
8. O que acontece se retirarmos o espelho semi-refletor 2 da bancada? Explique a imagem formada nos anteparos?
9. Se o regime fosse monofotônico o que vocês acham que iria acontecer com as imagens?
10. Por fim o que vocês acharam desse experimento e qual a sua interpretação para a natureza da Luz?

Referências:

Pessoa Jr., O. (1997). Interferometria, Interpretação e Intuição: Uma Introdução Conceitual a Física Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física* .

Pessoa Jr., O. (2003). *Conceitos de Física Quântica* - (Vol. I). São Paulo: Livraria da Física.



Orçamento do IMZ didático



Campinas, 16 de maio de 2012

Prof. Dielson Hohenfeld

IFBA – Campus Salvador

Salvador – BA

Tel.: (71) 2102-9527

Ref.: Orçamento para Kit Interferômetro Mach-Zehnder composto por:

Ítem	Descrição	Quant	Unitário R\$	Total R\$
01	Laser vermelho de 3mW com fonte e posicionador (PLL-15) com suporte (SB1-50) sobre carro (C1-30)	01	288,00	288,00
02	Trilho TR1-400	02	75,00	150,00
03	Carro C1-76 para trilho	04	70,00	280,00
04	Posicionador de espelho ou semi-espelho DL2	04	160,00	640,00
05	Espelho 25 x 38 x 1 mm com moldura suporte	03	70,00	210,00
06	Semi-espelho (divisor) 25 x 38 x 3 mm com moldura suporte	02	180,00	360,00
07	Base de alumínio 400 x 300 x 9,5mm anodizado preto	01	240,00	240,00
08	Anteparo com papel vegetal sobre suporte SB1-50+ Base	01	98,00	98,00
09	Anteparo com placa de alumínio sobre			



	suporte SB1-50 + Base	01	90,00	90,00
10	Pinhole em placa de alumínio sobre SB1-50 e carro C1-30 para ajuste direcional do feixe de laser	01	120,00	120,00

Entrega: 15 dias após confirmação

Pagamento: Depósito Banco do Brasil: Agência 6.957-4; Conta 100.060-8

Atenciosamente

Nair Watanabe,



Perfil dos Cursos Integrados

Automação Industrial

Perfil: O técnico em automação industrial projeta, executa e instala sistemas de controle; realiza diagnóstico, manutenção, medições e testes em equipamentos utilizados em processos industriais; programa e opera sistemas automatizados, respeitando normas técnicas e de segurança.

Onde atua: Indústria naval; fábricas de instrumentos; laboratórios de controle de qualidade e pesquisa; empresas da cadeia produtiva de petróleo, manutenção de equipamentos automatizados, projetos, instalações, montagens, energia e alimentos.

Duração mínima: 4 anos

Onde estudar: Salvador

Eletrotécnica

Perfil: O técnico em eletrotécnica instala, opera e mantém elementos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica; participa na elaboração e no desenvolvimento de projetos de instalações elétricas e infraestrutura para sistemas de telecomunicações em edificações; atua no planejamento e na execução de instalação e manutenção de equipamentos e instalações elétricas.

Onde atua: Concessionárias de energia elétrica; indústrias em atividades de manutenção, automação, fabricação de máquinas, componentes e equipamentos elétricos.

Duração mínima: 4 anos

Onde estudar: Camaçari/Feira de Santana/Salvador

Informática

Perfil: O técnico em informática opera e programa sistemas microprocessados; instala e diagnostica redes, faz administração e manutenção de *hardware* e *software*; dá suporte técnico a usuários de computadores; utiliza ambientes de desenvolvimento de sistemas em ambientes web e banco de dados; participa na construção de sistemas de apoio gerencial e produtivo.

Onde atua: Instituições públicas, privadas e terceiro setor.

Duração mínima: 4 anos

Onde

estudar: Barreiras/Camaçari/Eunápolis/Ilhéus/Iracemá/Jacobina/Jequié/Paulo Afonso/Porto Seguro/Santo Amaro/Seabra/Valença/Vitória da Conquista

Disponível em:

[<http://www.portal.ifba.edu.br/institucional/ensino-tecnico-integrado.html>](http://www.portal.ifba.edu.br/institucional/ensino-tecnico-integrado.html)

Acesso 20 de abril 2013