



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

KEVIA HELENA FRANCELINO PIMENTEL

PROPOSTA PARA O ESTUDO DO FENÔMENO DA INTERFERÊNCIA COM
SIMULADORES

Maceió, AL
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

KEVIA HELENA FRANCELINO PIMENTEL

PROPOSTA PARA O ESTUDO DO FENÔMENO DA INTERFERÊNCIA COM
SIMULADORES

Dissertação realizada sob orientação do Prof. Dr. Kléber Cavalcanti Serra e apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestra em Ensino de Ciências e Matemática – Área de Concentração Ensino de Física, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Educação da Universidade Federal de Alagoas.

Orientador: Prof. Dr. Kléber Cavalcanti Serra

Maceió, AL

2017

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

P644p Pimentel, Kévia Helena Francelino.
Proposta para o estudo do fenômeno da interferência com simuladores
/ Kévia Helena Francelino Pimentel. – 2017.
141 f.: il.

Orientador: Kléber Cavalcanti Serra.
Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Educação. Programa de
Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Maceió, 2017.

Inclui bibliografia.
Apêndices: f. 85-138.
Anexos: f. 139-141.

1. Formação continuada. 2. Professores - Formação. 3. Aprendizagem
significativa. 4. Transposição didática. 5. Simuladores – Ensino de Física.
6. Interferência luminosa – Ensino de Física. I. Título.

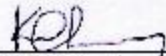
CDU: 372.853

KÉVIA HELENA FRANCELINO PIMENTEL

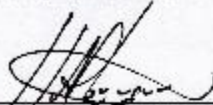
**PROPOSTA PARA O ESTUDO DO FENÔMENO DA INTERFERÊNCIA COM
SIMULADORES**

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática – Subárea de Concentração “Ensino de Física”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Educação da Universidade Federal de Alagoas, aprovada em 24 de maio de 2017.

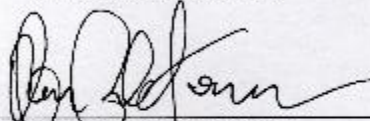
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Kleber Cavalcanti Serra
Orientador e presidente
(IF; PPGECIM/CEDU/UFAL)



Prof. Dr. Samuel Silva de Albuquerque
(Campus Arapiraca/UFAL)



Prof. Dr. Elton Casado Fireman
(PPGECIM/CEDU/UFAL)

*À minha querida filha Nicole,
motivação e inspiração do meu viver.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por me permitir chegar até aqui e a oportunidade de estar escrevendo estes agradecimentos.

Agradeço à minha família, meu porto seguro, especialmente aos meus grandes exemplos – como poucas pessoas tive o privilégio de ter duas mães: Dona Maria Helena Pimentel e Sandra Pedrosa Pimentel Alves, que me educou, e fazem o mesmo, nas minhas ausências em função do trabalho, com minha filha Nicole, a quem dedico este trabalho, inspiração do meu viver. Por tudo isso, sou eternamente grata.

Ao meu querido Professor Doutor Kléber Cavalcanti Serra, também orientador, obrigada pela paciência, atenção, dedicação e toda ajuda que me prestou na realização do nosso trabalho.

Ao Professor Doutor Samuel Silva de Albuquerque, pela sua importante participação na minha vida acadêmica e por ter aceito o convite de compor a Banca Examinadora.

Ao Professor Doutor Elton Casado Fireman, repito as mesmas palavras, muito obrigada pela sua significativa participação na minha vida acadêmica, por ter aceito o convite de compor a Banca Examinadora e por suas importantes contribuições para enriquecimento deste trabalho.

A todo o corpo discente, coordenadores e secretárias do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – PPGECIM.

Aos amigos da turma de 2014, em especial ao amigo Daniel Japiassú, pela parceria, trocas de conhecimentos, informações, pelos trabalhos realizados e apresentados.

Aos professores participantes da pesquisa, obrigada pela contribuição importantíssima de cada um. Em especial, a Professora e amiga Lousane Barros presente em todas as etapas de realização desta pesquisa, com seus préstimos e apoio sempre. Desejo-lhe boa sorte em sua caminhada também.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma pesquisa do tipo qualitativa, acerca do estudo da interferência luminosa utilizando simuladores intitulados Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder e Interferência de Ondas da plataforma PhET. O estudo foi realizado com alguns professores da Educação Básica, do Estado de Alagoas, através de oficinas (presencial e online), além da produção de materiais como textos, vídeo-aulas e questionários, à luz da Transposição Didática de Chevallard e da Aprendizagem Significativa de Ausubel. O objetivo principal foi analisar as contribuições dessas ferramentas como instrumentos eficazes, constituindo assim um mecanismo eficiente para apresentar conceitos científicos e tornar os professores eficientes no ensino, e os alunos autônomos no processo de aprendizagem. A partir da utilização de simulações interativas foi produzido um material instrucional como sequência didática, produto desta dissertação, que servirá como ponto de partida para uma nova metodologia de ensino. Contudo, acredita-se que o estudo realizado foi de suma importância como contribuição na formação continuada dos professores participantes e será ainda mais importante para aqueles que fizerem uso em suas aulas.

Palavras-chaves: Transposição Didática. Aprendizagem Significativa. Formação Continuada de Professores. Simuladores. Interferência Luminosa.

ABSTRACT

This work presents a qualitative research about the study of light interference using simulators titled: Mach-Zehnder Virtual Interferometer and Wave Interference present on the PhET platform. The study was carried out with some teachers of Basic Education, in the state of Alagoas, through workshops (classroom and online), as well as the production of materials such as texts, video-lessons and questionnaires, in the light of the didactic Transposition of Chevallard and Significant Learning of Ausubel with the main objective of analyzing the contributions of these tools as effective instruments, thus constituting an efficient mechanism to present scientific concepts and make teachers efficient in teaching, and autonomous students in the learning process. And from the use of interactive simulations an instructional material was produced as a didactic sequence, product of this dissertation, which will serve as a starting point for a new teaching methodology. However, it is believed that the study was of paramount importance as a contribution to the continuing training of participating teachers and will be even more important for those who use it in their classrooms.

Keywords: Didactic Transposition. Significant Learning. Continuing Teacher Training; Simulators. Luminous Interference.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de uma simulação não interativa	17
Figura 2 – Exemplo de uma simulação interativa	17
Figura 3 – Composição básica do interferômetro de Mach-Zehnder.....	19
Figura 4 – Os caminhos do feixe de luz no Quantum Eraser	21
Figura 5 – Apresentação do Quantum Eraser ao ser iniciado	21
Figura 6 – Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder	24
Figura 7 – O caminho dos feixes no Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder com vista superior.....	24
Figura 8 – Reiniciando o ponto de vista e observando o caminho dos feixes	25
Figura 9 – Interferência construtiva e destrutiva, no regime clássico	25
Figura 10 – Interferência da luz laser sem o segundo espelho semi-refletor	26
Figura 11 – Interferômetro Virtual e seu esquema experimental.....	26
Figura 12 – Interferência da luz com fonte laser e três polaroides em 0 grau	27
Figura 13 – Interferência da luz com fonte laser e dois polaroides em 0 grau e 90 graus	28
Figura 14 – Plataforma PhET na área específica Física	30
Figura 15 – Simulador Interferência de Ondas do PhET	31
Figura 16 – Layout da plataforma Moodle utilizada.....	33
Figura 17 – Interferência construtiva e destrutiva em cordas	35
Figura 18 – Comportamento de duas ondas sonoras	36
Figura 19 – Duas ondas que diferem na fase.....	37
Figura 20 – Interferência de duas ondas de amplitudes diferentes e uma diferença de fase φ	39
Figura 21 – Interferência construtiva	39
Figura 22 – Interferência destrutiva	40
Figura 23 – Diferença de caminho proporcionando as franjas de interferência.....	41
Figura 24 – Comparando a propagação de diferentes ondas	43
Figura 25 – Relação Professor-Aluno-Saber.....	48
Figura 26 – Noosfera como mediadora no processo de transposição	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quanto ao nível de instrução dos professores.....	66
Gráfico 2 – Quanto ao curso de sua formação.....	66
Gráfico 3 – Quanto às instituições que os professores trabalham	67
Gráfico 4 – Quanto ao tempo disponível para planejamento de aulas	67
Gráfico 5 – Quanto ao laboratório de ciências na escola	68
Gráfico 6 – Quanto ao laboratório de informática nas escolas	68
Gráfico 7 – Quanto ao acesso à internet através de um computador	69
Gráfico 8 – Quanto aos fenômenos ondulatórios	69
Gráfico 9 – Quanto à utilização dos simuladores com os alunos	73
Gráfico 10 – Quanto às simulações serem didáticas	73
Gráfico 11 – Quanto às dificuldades de manuseio	73
Gráfico 12 – Quanto à satisfação de conhecer os aplicativos.....	74
Gráfico 13 – Quanto à contribuição para o ensino de Física.....	74
Gráfico 14 – Quanto à possibilidade de uma nova metodologia de ensino	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Guia Experimental 1	63
Quadro 2 – Guia Experimental 2	63
Quadro 3 – Guia Experimental 3	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 SIMULADORES COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE FÍSICA.....	16
2.1 Interferômetro de Mach-Zehnder	18
2.1.1 Descrição e Funcionamento.....	18
2.1.2 Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder	20
2.1.3 Utilização do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder como ferramenta para o ensino da interferência.....	22
2.2 Plataforma PhET.....	28
2.2.1 Interferência de Ondas no PhET.....	31
2.3 Plataforma Moodle	32
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	34
3.1 Fenômenos Ondulatórios da Interferência	34
3.1.1 Interferência em uma Corda.....	35
3.1.2 Interferência Sonora.....	35
3.1.3 Interferência Luminosa	36
3.1.4 Diferença de Fase.....	37
3.1.5 Cálculo da Intensidade da Luz.....	37
3.1.6 Experimento da Fenda Dupla de Thomas Young.....	40
3.2 A Transposição Didática de Chevallard como Ferramenta de Ensino	43
3.2.1 A Transposição Didática	44
3.2.2 O Ensino de Física e a Transposição.....	45
3.2.3 Estrutura da Transposição de Chevallard	47
3.2.4 O processo da Transposição.....	51
3.2.5 As regras da Transposição Didática	53
3.3 Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel: um breve comentário ..	56
3.2.1 Os Organizadores Prévios: Uma Ponte entre a Teoria da Transposição de Chevallard e a Aprendizagem Significativa de Ausubel	57
4 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	59
4.1 Metodologia	59
4.2 Proposta	60

4.2.1 Descrição.....	62
5 RESULTADOS.....	65
5.1 Análise do Questionário A – Perfil dos Professores Participantes	65
5.2 Questionário B – Noções Básicas sobre Interferência	70
5.3 Guias Experimentais com Respostas.....	71
5.4 Análise do Questionário C – Ponto de Vista do Professor.....	72
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS.....	78
APÊNDICES	82
APÊNDICE A – Texto de apoio prévio	83
APÊNDICE B – Instruções sobre o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder ..	105
APÊNDICE C – Guias experimentais readaptados do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder	112
APÊNDICE D – Questionários	115
APÊNDICE E – Respostas dos Professores ao Questionário B.....	118
APÊNDICE F – Guias Experimentais com Respostas.....	126
ANEXO	135
Sugestões de Guias Experimentais Readaptados com Respostas.....	136

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno da interferência, especificamente o da interferência da luz, é o nosso objeto de estudo, que tem grande relevância no campo da Óptica, por exemplo. Com base nos princípios da óptica física, importantes inovações tecnológicas, como o laser, a fibra ótica, os hologramas e até modernas técnicas para obtenção de imagens médicas, comprovam o comportamento ondulatório da luz.

A Luz é um dos fenômenos mais intrigantes da natureza. Isto decorre do caráter fisiológico de sua percepção e das dificuldades em se lidar com as grandezas envolvidas. Por conta desta complexidade, os aspectos perceptivos e práticos são essenciais na sua compreensão. (BARTHEM, 2005).

Em minha experiência, de sete anos como professora de Física da Escola Pública, observo que uma das dificuldades, tanto em ensinar como no entendimento do aluno em determinados conteúdos, consiste em desvinculá-los da vida prática dos estudantes. Segundo esse pensamento acerca das práticas docentes sobre o ensino de Física, percebemos que certos conteúdos ficam à margem do processo de ensino-aprendizagem e que não existe uma cobrança por parte da escola ou dos alunos, mesmo considerando-os como presentes na matriz curricular do ensino médio. A principal característica que justifica tal constatação é o fato de se dar mais destaque ao formalismo matemático presente em muitos conteúdos, deixando-se de lado as discussões a respeito dos conceitos científicos importantes, tanto do ponto de vista histórico como conceitual.

Além do exposto, nossa pesquisa foi motivada por um pensamento inquietante quando nos deparamos com a forma que alguns conteúdos da Física são trabalhados, restringindo-se a aulas expositivas acompanhadas por resoluções de problemas, com pouca ou nenhuma atividade experimental. Para corroborar nosso pensamento, Ramos (2014) afirma que essa forma de trabalhar os conteúdos não contribui para que o aluno tenha uma aprendizagem significativa, pois ele não consegue estabelecer relações dos conteúdos trabalhados em sala de aula com sua prática social, propiciando o possível desinteresse dos mesmos.

Assim, vimos a possibilidade da inserção da prática experimental utilizando simuladores virtuais como recurso didático para o professor. “O ensino por meio da experimentação é quase uma necessidade no âmbito das ciências naturais” (SANTOS apud RAMOS, 2014, p.4). Santos, assim como Resende, destaca a importância da prática e da utilização de *Softwares Educacionais* que possibilitam a interatividade e simulações de aspectos reais (REZENDE apud HOFFMANN, 2010, p. 13).

Tudo isto nos levou a investigar se a utilização dos simuladores PhET¹ e March-Zehnder² podem ser utilizados como uma metodologia de aprendizagem e uma opção para orientar o estudo além da sala de aula, auxiliando professores como recursos didáticos para o ensino da interferência. Fizemos o seguinte questionamento: será que a utilização do interferômetro virtual de Mach-Zehnder (IVMZ) e da plataforma PhET podem ser instrumentos facilitadores para explicar o fenômeno da interferência da luz, constituindo assim um mecanismo eficiente para apresentar conceitos científicos e contribuir para tornar os professores facilitadores e os alunos autônomos no processo de ensino e aprendizagem?

Segundo Ostermann, Prado e Ricci (2006), o Interferômetro de Mach-Zehnder, além de aparecer com frequência crescente em artigos da área de ensino de Física – como em Muller e Wiesner (2002) e Pessoa Jr. (2003) –, sua versão virtual é bastante apropriada em termos didáticos, pois se trata de um arranjo experimental análogo ao experimento da fenda dupla de Young – assunto abordado nos próximos capítulos – e sua utilização facilita em cursos de formação de professores. Observamos que a maioria dos participantes desta pesquisa desconhecia o IVMZ, fato preponderante na escolha desta ferramenta. Já segundo Miranda et al. (2010), a plataforma PhET foi e está sendo uma bem-sucedida iniciativa na produção de simulações para o ensino de Física, simulações interativas que constituem um mecanismo eficiente no processo de ensino e aprendizagem. Além de produzir tais ferramentas, a equipe do PhET busca realizar uma avaliação da eficiência de seu uso em salas de aula, como mostrado em Adams et al. (2008).

Com base no que já foi dito, podemos propor uma maneira de contribuir na formação continuada de professores de forma significativa, utilizando dois objetos de

¹ O simulador denominado Interferência de Ondas encontra-se no endereço eletrônico: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>

² O Simulador Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder está disponível no endereço eletrônico: <<http://www.if.ufrgs.br/~fernanda>>

aprendizagem: o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder e a simulação Interferência de Ondas da plataforma PhET para explicar o fenômeno da interferência luminosa, ampliando o campo do conhecimento sobre o assunto proposto e apresentando as ferramentas e funcionalidades dos aplicativos como análise didática.

No segundo capítulo deste trabalho, intitulado “Simuladores como ferramenta para o ensino de física”, fizemos um breve relato sobre a opinião de alguns autores quanto ao uso de simuladores virtuais. Ainda neste capítulo, apresentamos para o leitor: o IVMZ, seu arranjo, composição e menu de controle; a plataforma PhET; interferência de ondas no PhET, suas ferramentas e seu painel de controle; e, por fim, a plataforma Moodle, que utilizamos para ministrar parte das nossas oficinas.

Elaboramos um material de apoio prévio acerca dos fenômenos ondulatórios, que servirá para o professor, utilizando uma linguagem de fácil compreensão, baseando nossa prática na Teoria da Transposição Didática de Chevallard, além de guias experimentais e instrucionais com potencial teórico significativo, segundo os preceitos da Teoria da Aprendizagem Significativa – ambas as teorias descritas no Capítulo 3.

Todas as atividades e materiais foram aplicados em oficinas, em parte apresentadas em vídeo-aulas online através da plataforma Moodle e uma delas de forma presencial, realizada no Laboratório do Centro de Ciências e Tecnologia - CECITE, localizado no Centro Educacional Antônio Gomes de Barros - CEAGB, bairro do Farol, Cidade de Maceió, Estado de Alagoas. A descrição deste curso e os dados obtidos são apresentados nos Capítulos 4 e 5. Os textos instrucionais e de apoio prévio, questionários e guias experimentais estão presentes nos Apêndices e Anexo deste trabalho.

Ao final da nossa pesquisa, esperamos atingir os seguintes objetivos: promover o uso do IVMZ e do Interferômetro de Ondas do PhET como ferramentas que possibilitem o ensino-aprendizagem do fenômeno da interferência luminosa; utilizar tais *softwares* como proposta metodológica de ensino por parte dos professores; fazer com que os docentes analisem a possibilidade de inserir em suas aulas tais aparatos, além das sequências de atividades propostas no produto educacional desta dissertação, a partir das oficinas apresentadas; utilizar a Transposição de Chevallard na produção de materiais e vídeo-aulas como recursos facilitadores na compreensão do conteúdo trabalhado; fazer com que os professores produzam seus próprios guias experimentais acerca do Interferômetro Virtual de

Mach-Zehnder, atestando a potencialidade dos materiais (textos, vídeos-aulas) utilizados nesta pesquisa, seguindo os escritos de Moreira (2006) sobre a Aprendizagem Significativa de Ausubel.

2 SIMULADORES COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE FÍSICA

A utilização de simulações é a prática mais comum no ensino de Física, pois segundo Coelho (2002), ela serve como ponte entre o estudo do fenômeno de maneira tradicional e experimentos de laboratório.

Para Miranda et al. (2010), um dos mais disseminados tipos de objetos de aprendizagem (materiais digitais de apoio à aprendizagem) são as simulações computacionais de experimentos de física, que estão disponíveis para utilização em diversos contextos. Ainda que elas não devam substituir experimentos reais, pesquisas indicam que seu uso combinado à atividade experimental pode tornar mais eficiente o processo de aprendizagem dos alunos.

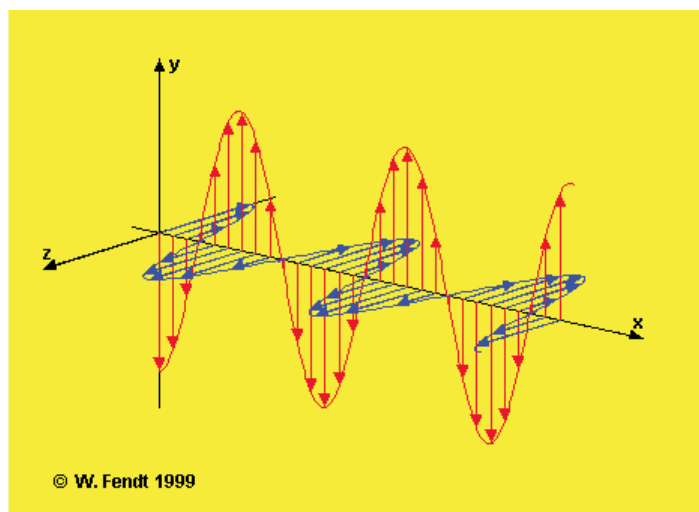
As simulações podem ser vistas como representações ou modelagens de objetos específicos reais ou imaginados, de sistemas ou fenômenos. Elas podem ser bastante úteis, particularmente quando a experiência original for impossível de ser reproduzida pelos estudantes. (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002, pág. 79)

As Sims³ podem ser divididas em dois grupos: interativas e não interativas. Nas simulações não interativas, o usuário não pode alterar nenhum parâmetro da simulação. “Os simuladores não interativos servem para mostrar e ilustrar a evolução temporal de algum evento ou fenômeno” (HECKLER, 2004).

A figura abaixo mostra um exemplo de simulação não interativa, na qual uma onda eletromagnética, denominada onda plana polarizada, se propaga na direção positiva do eixo x. Nessa simulação, é possível visualizar a propagação das ondas eletromagnéticas, mas não é possível fazer qualquer modificação na sua frequência ou amplitude.

³ Sims – abreviatura de Simulações, termo utilizado principalmente em inglês e adotado no português.

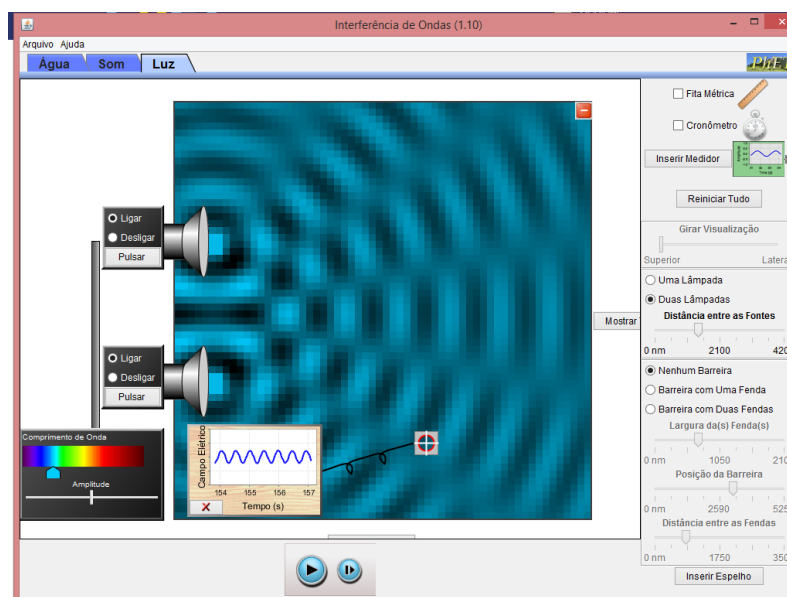
Figura 1 – Exemplo de uma simulação não interativa



Fonte: MACÊDO et al., 2012, p.10.

Nas simulações interativas, o usuário pode alterar vários parâmetros da simulação, explorando a situação física representada, verificando as implicações das alterações feitas no comportamento do fenômeno estudado (COELHO, 2002). A Fig. 2 mostra um exemplo típico de uma simulação desse tipo. Utilizando a interferência de Ondas no simulador PhET.

Figura 2 – Exemplo de uma simulação interativa



Fonte:- PHET – INTERACTIVE SIMULATIONS.⁴

⁴ Disponível no endereço: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-interference>.

Utilizaremos simulações interativas, permitindo que o professor explore o fenômeno discutido, organizando seu conhecimento e verificando as possibilidades da aplicabilidade dos *softwares* em sua sala de aula.

Nos últimos anos, vários autores se manifestaram contra e a favor da utilização de simulações computacionais no ensino de Física. Para Medeiros e Medeiros (2002) um sistema real é frequentemente muito complexo e a maioria das simulações que o descrevem é geralmente baseada em modelos que representam simplificações e aproximações da realidade, assim uma animação não é uma cópia fiel do real, toda simulação está baseada em uma modelagem do real, e se essa modelagem não estiver clara para os professores pode causar danos potenciais, principalmente se o modelo contiver erros grosseiros. Cabe ao professor o bom senso de planejar e selecionar as simulações que deseja utilizar. Em contrapartida, os mesmos afirmam que as animações e simulações são consideradas, por muitos, a solução dos vários problemas que os professores de física enfrentam ao tentar explicar para seus alunos conceitos abstratos (fótons, elétrons, linhas de campo, etc.), por permitirem sua visualização através de uma única figura. Além disso, elas possibilitam a observação da evolução temporal de um fenômeno que levaria horas, dias ou anos em tempo real, e ainda permite ao estudante repetir a observação sempre que desejar.

O trabalho de revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de física de Araújo e Veit (2004) deixa claro a importância do uso das mesmas no ensino-aprendizagem, além de que têm sido largamente utilizadas no ensino de física.

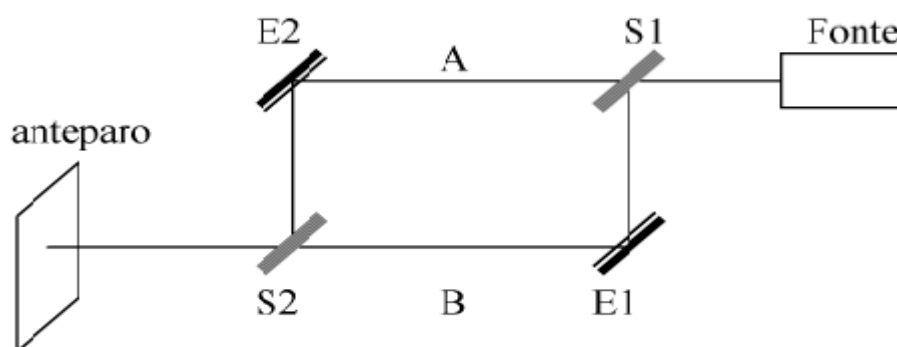
2.1 Interferômetro de Mach-Zehnder

2.1.1 Descrição e Funcionamento

O Interferômetro de Mach-Zehnder é constituído por dois espelhos semi-refletores, também chamados de divisores de feixes, e de dois espelhos totalmente refletores, que demonstram, de modo simples, o fenômeno da interferência da luz pela divisão de um feixe luminoso no anteparo colocado em um dos braços do aparato. O feixe incidente é dividido em duas componentes pelo primeiro espelho semi-refletor, uma transmitida e outra refletida, de igual amplitude, que se propagam

em direções perpendiculares. Após a reflexão pelos espelhos refletor, elas reencontram-se no segundo espelho semi-refletor. Os braços paralelos do instrumento devem ser exatamente iguais. Na visualização, assim como na discussão do formalismo matemático, supõe-se que os feixes sempre incidem a 45° sobre os espelhos. Observe a figura abaixo que representa os componentes básicos de um IMZ:

Figura 3 – Composição básica do interferômetro de Mach-Zehnder



Fonte: OSTERMANN; PRADO, 2005, p. 196

S1 e S2 são espelhos semi-refletores, E1 e E2 são espelhos totalmente refletor e A e B representam os caminhos ópticos dos feixes que chegam ao anteparo.

Quanto ao seu funcionamento, ele pode ser utilizado para diversas interpretações de conceitos e formalismos atrelados à Mecânica Quântica, como o princípio da incerteza, a questão da dualidade onda-partícula, e principalmente o fenômeno da interferência, que é o foco da nossa pesquisa (trabalhando com o IMZ Virtual no seu regime clássico, ou seja, com o movimento ondulatório da luz, através do *laser*).

Segundo Zetie et al. (2000), o Interferômetro de Mach-Zehnder é um dispositivo muito simples para demonstrar o fenômeno da interferência por meio de divisão de amplitude. Em relação a esta divisão, ele diz que:

Um feixe de luz é primeiro dividido em duas partes por um divisor de feixe e, em seguida recombinados por um segundo divisor de feixe. Dependendo da fase relativa adquirida pelo feixe ao longo dos dois caminhos o segundo divisor de feixe refletirá o feixe com eficiência entre 0 e 100%. (ZETIE et al, 2000, pag. 46)

Este experimento nos permite alterar sua configuração, acrescentando ou retirando algumas ferramentas a depender do objetivo, do que se quer analisar. Por exemplo, podemos utilizar filtros polarizadores, chamados também de polaroides, na análise clássica do padrão de interferência; ou detectores sensíveis à presença de fóton único, chamado de “estado monofotônico”, ou seja, de forma que apenas um fóton se encontre por vez dentro do interferômetro. Experimentalmente, podemos também retirar da Fig. 3 o espelho semi-refletor S1 e supor que o fóton, antes de atingir S2, encontra-se no caminho A; nesse caso, a questão a ser analisada é “por qual caminho rumou o fóton, A ou B?”⁵.

Como nossa ferramenta de trabalho é investigar uma das aplicabilidades do IMZ Virtual, vamos descrevê-lo na próxima seção, ressaltando também a possibilidade de sua utilização na Mecânica Quântica, dando ênfase ao fenômeno da interferência no regime clássico da ondulatória.

2.1.2 Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder

Um dos nossos objetivos principais nessa seção é descrever de forma detalhada para o leitor, seja ele professor de Física ou não, as ferramentas e funcionalidades do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, já que faremos uso desse simulador, como objeto de pesquisa, além do PhET, visando proporcionar uma maior motivação e interesse e possibilitar uma aprendizagem significativa sobre o fenômeno da interferência de ondas luminosas como contribuição para a formação de professores.

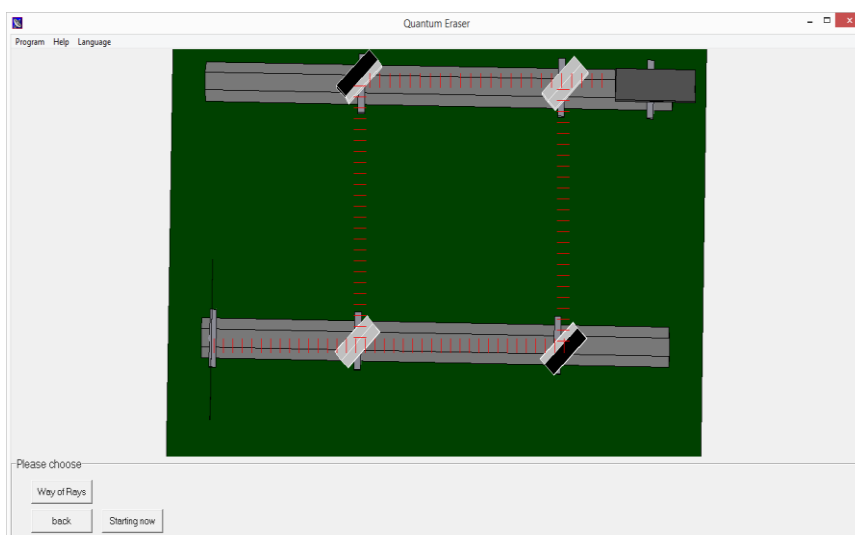
Uma das primeiras versões em simulação Java do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder foi desenvolvida na Universidade de Munique, Alemanha, por Muller e Wiesner. O *software* é denominado *Quantum Eraser*⁶. Logo no início, na abertura do programa, o usuário tem a opção de escolher o idioma entre alemão ou inglês, ou seja, o *Quantum Eraser* disponibiliza dois idiomas diferentes para seu funcionamento. O aparato possui dois espelhos semi-refletores e dois espelhos totalmente refletores, uma fonte e um anteparo, além dos instrumentos que podem ser manipulados como filtros polaroides e detectores. Observe a representação do *Quantum Eraser* nas figuras 4 e 5, a seguir.

⁵ Para obter a resposta da questão, consultar: PESSOA JR., O.; 1997, pág. 32.

⁶ Obtenha o *software Quantum Eraser* no endereço: <http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/interferometer/index.html>

Ao clicar para executar o programa *Quantum Eraser*, após a escolha do idioma (neste caso, optamos pelo “Inglês”), o usuário deverá clicar em “start” (começar). Para visualizar o caminho dos feixes de luz emitido pela fonte, Fig. 4, na versão em inglês, deve-se clicar em “Way of Rays” (Caminho dos Feixes), no canto inferior esquerdo.

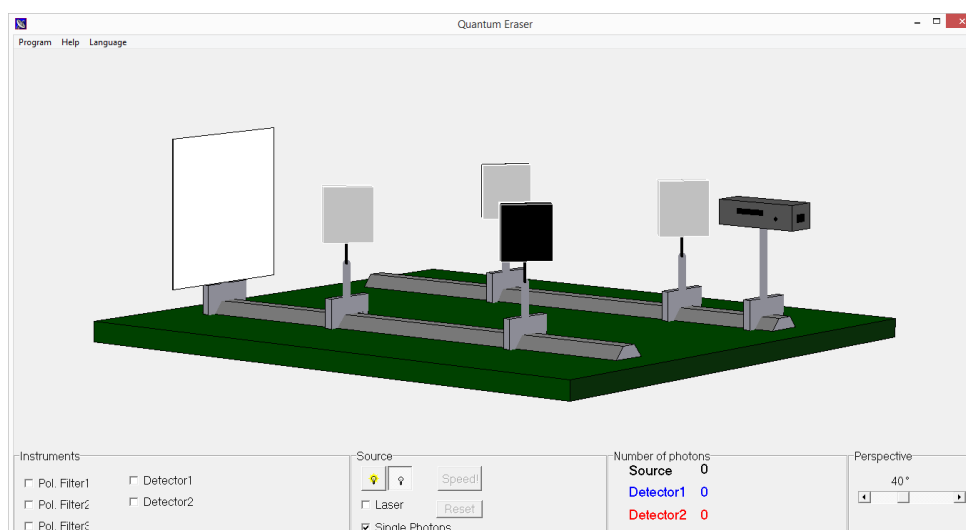
Figura 4 – Os caminhos do feixe de luz no Quantum Eraser



Fonte: *Print screen* do programa.

Ao clicar em “Starting” ou “Starting now” (“começando” ou “começando agora”), passamos a ver o aparato numa perspectiva de 40°; aparecerá uma barra de ferramentas na parte inferior da tela, como mostra a Fig. 5.

Figura 5 – Apresentação do Quantum Eraser ao ser iniciado



Fonte: *Print screen* do programa.

Observe na Fig. 5, a fonte de luz à direita no trilho interno e o anteparo à esquerda no trilho externo. Há dois espelhos semi-refletores: o mais próximo à fonte no trilho interno e o mais próximo ao anteparo no trilho externo. Os outros dois espelhos são totalmente refletores.

Nossa intenção não é explorar esta primeira versão do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, chamada de *Quantum Eraser*, mas o mencionamos acima a título de comparação, para que o leitor saiba que o *software* que utilizaremos é uma adaptação atualizada e mais completa que o *Quantum Eraser*, tal versão que pretendemos utilizar e apresentaremos ao longo da pesquisa, de forma bem mais detalhada.

2.1.3 Utilização do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder como ferramenta para o ensino da interferência

O uso de simuladores vem se tornando um mecanismo facilitador no processo de ensino-aprendizagem, acompanhado do computador como principal tecnologia que possibilita ao professor levar até seus alunos novos conhecimentos, através de programas e experimentos virtuais.

Utilizaremos o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder como proposta e estratégia de ensino acerca do fenômeno da interferência da luz; sugerindo que o professor de física o conheça e faça uso do mesmo em sua sala de aula, promovendo maior interesse e integração de seus alunos.

Este *software* é do tipo “bancada virtual”, foi adaptado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul por Ostermann, Prado e Ricci (2005) e está disponível no endereço eletrônico: <www.if.ufrgs.br/~fernanda>.

Este arranjo experimental é similar ao experimento da dupla fenda ou experiência de Thomas Young⁷ (consultar Apêndice A para mais detalhes). Porém, segundo seus idealizadores, é uma ferramenta muito mais simples e didática, tanto para a formação de professores como para sua utilização nas escolas de ensino médio. Assim, podemos frisar que o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder nos

⁷ A experiência da dupla fenda consiste em deixar que a luz visível se difrate através de duas fendas, produzindo padrões de interferência. Tais padrões mostram regiões claras e escuras que correspondem aos locais onde as ondas luminosas interferiram entre si construtivamente e destrutivamente.

permite observar claramente o fenômeno da interferência entre os feixes de luz. Também nos permite trabalhar virtualmente em dois regimes: o clássico, quando selecionamos a opção *laser* (ondulatória); ou o quântico, quando selecionamos a opção fótons únicos (sistema monofotônico, partículas).

No regime clássico, o *Software* possibilita a visualização do fenômeno de interferência de luz, mostrando a trajetória da luz, seu comportamento ondulatório, e a superposição das ondas refletidas pelos espelhos semi-refletores vistas nos anteparos. (HOFFMANN, 2010, pag. 14)

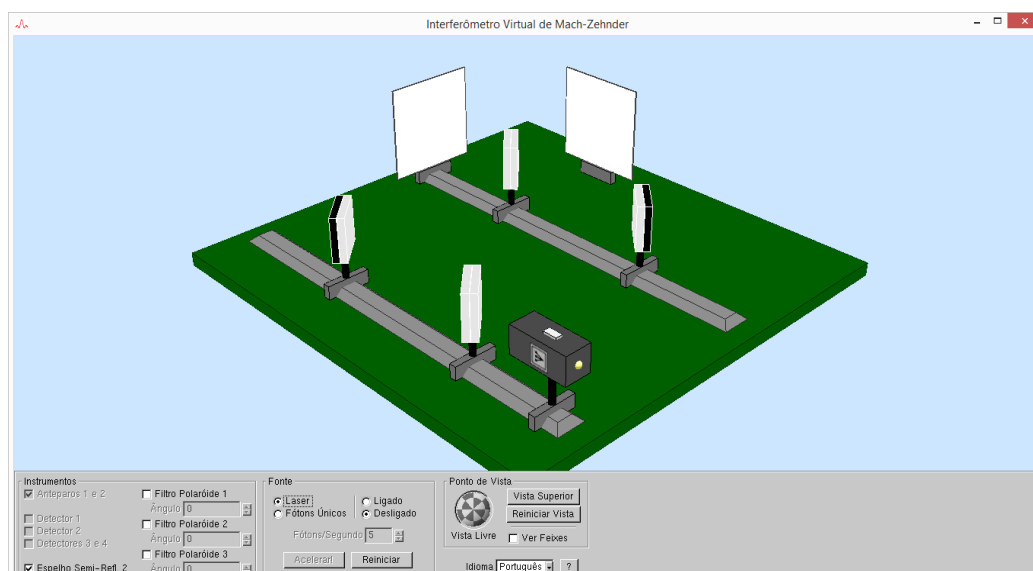
Podemos agora descrever para o leitor o arranjo experimental ao qual nos referimos. Observe a Figura 6, que mostra o programa logo que é executado, no regime clássico e na versão em português. De antemão devemos lembrar que o acesso ao Interferômetro Virtual é livre e possui versão em três idiomas: inglês (apresenta-se nessa linguagem assim que é executado), português e espanhol. O usuário pode salvá-lo em seu computador ou até mesmo em seu *pendrive*, por precaução, caso a página de acesso esteja indisponível no momento preciso.

Remetendo-se à Figura 3, podemos comparar os componentes básicos do Interferômetro com o que apresenta a Figura 6 na “mesa virtual”: dois espelhos semi-refletores, dois espelhos totalmente refletores e dois anteparos.

Na parte inferior da tela, temos o que podemos chamar de “menu de controle” do programa. Observe na Fig. 6 os componentes⁸ que constituem a ferramenta de controle do Interferômetro.

⁸ Explicações sobre cada objeto que compõe o “menu de controle” encontram-se no Apêndice B.

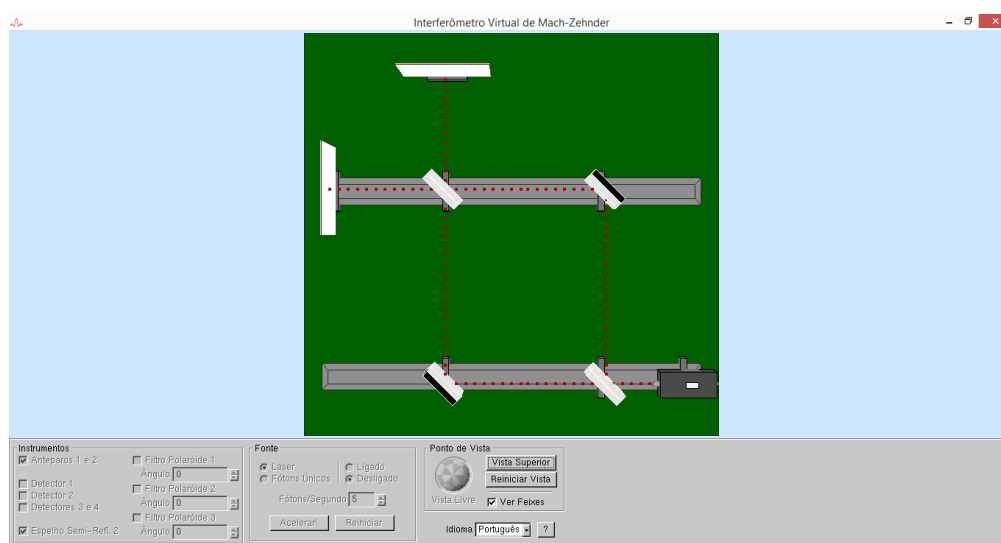
Figura 6 – Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder



Fonte: *Print screen* do programa.

Com o programa já instalado, na “caixa de ferramentas”, pertencente ao “menu de controle”, observe onde está “Ponto de Vista”. É lá que podemos selecionar um dos três idiomas: neste caso, optamos pelo português. Vamos marcar onde tem escrito “Ver Feixes” e depois clicar em “Vista Superior”. Observe a Fig. 7, que nos mostra o resultado dessa sequência. Visualizaremos o caminho dos feixes de luz e uma mudança no ponto de vista do Interferômetro.

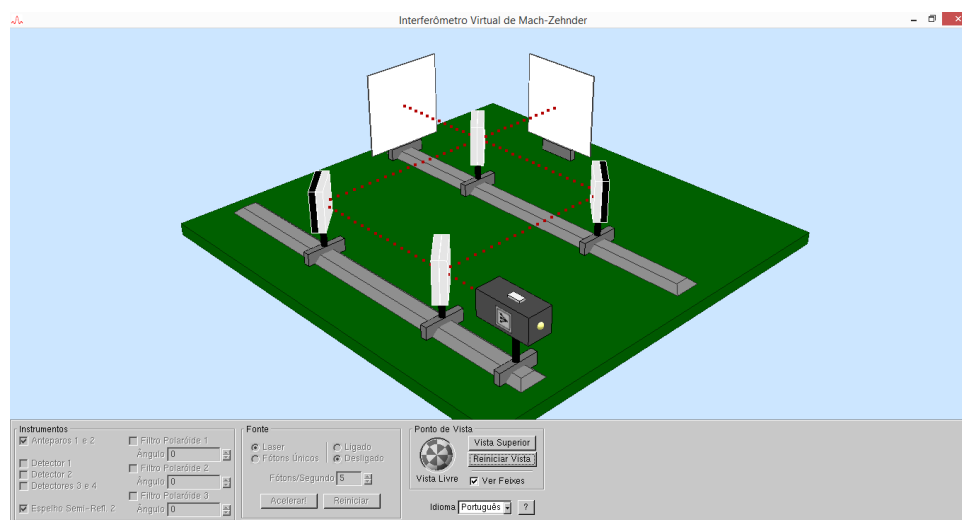
Figura 7 – O caminho dos feixes no Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder com vista superior



Fonte: *Print screen* do programa.

Também temos a opção de clicarmos em “Reiniciar Vista” e observamos o caminho dos feixes da onda luminosa, como se vê na Fig. 8:

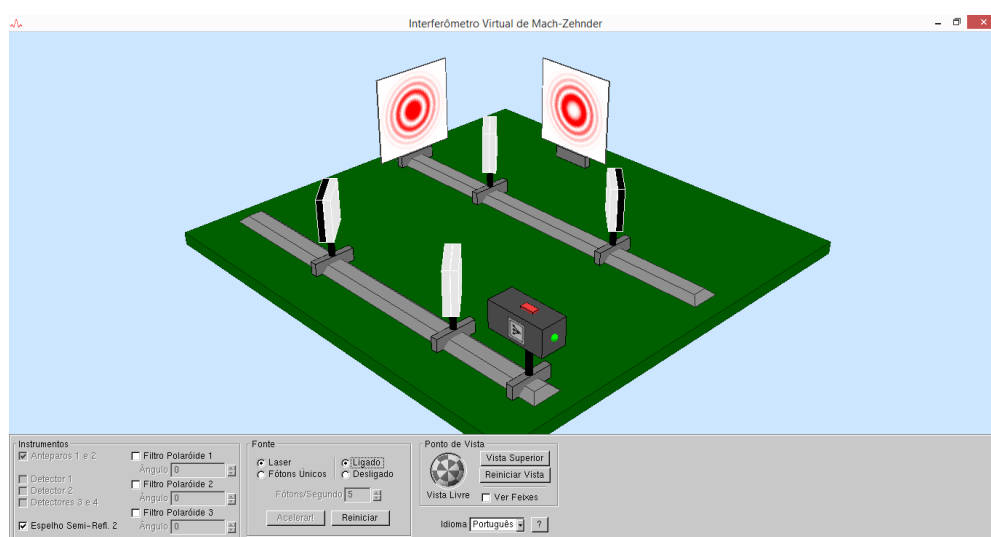
Figura 8 – Reiniciando o ponto de vista e observando o caminho dos feixes



Fonte: *Print screen* do programa.

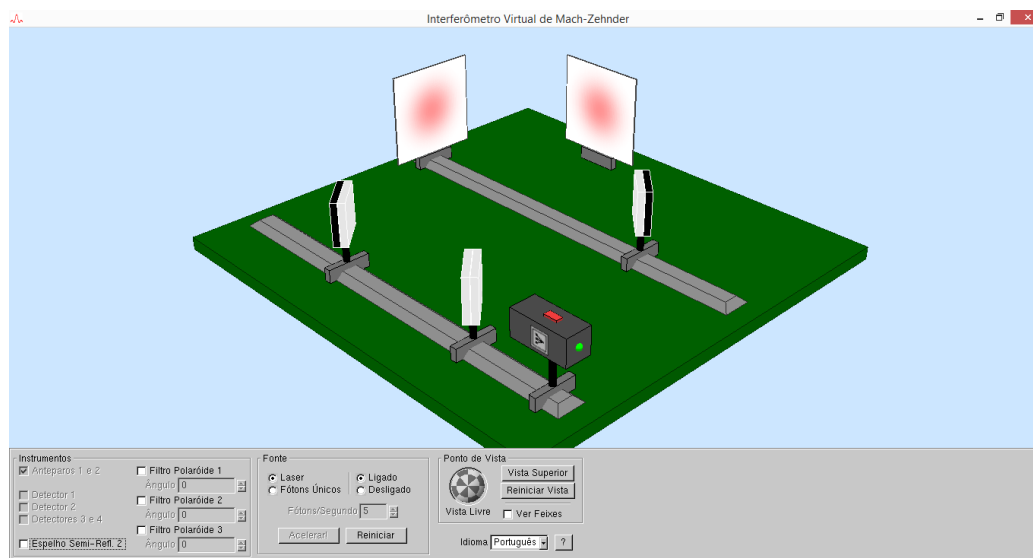
Após observarmos o caminho dos feixes nas Fig. 7 e 8, podemos agora visualizar os padrões de interferência nos anteparos 1 e 2 do Interferômetro Virtual, com a opção “fonte” marcada em *laser*; temos também a possibilidade de explicar para os alunos tal padrão utilizando ou não o segundo espelho semi-refletor. Observe as Fig. 9 e 10:

Figura 9 – Interferência construtiva e destrutiva, no regime clássico



Fonte: *Print screen* do programa.

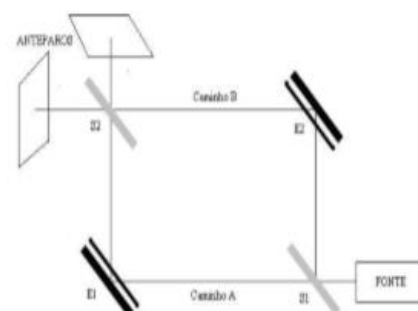
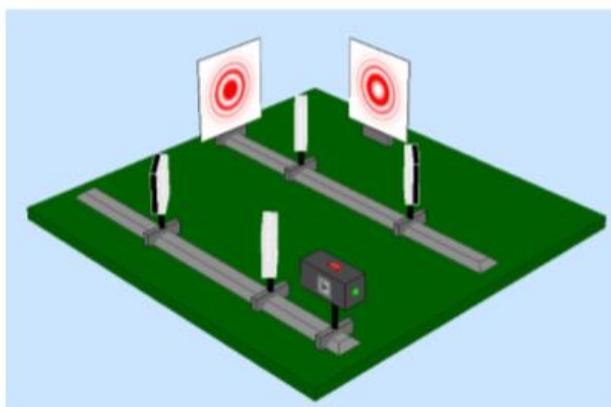
Figura 10 – Interferência da luz laser sem o segundo espelho semi-refletor



Fonte: *Print screen* do programa.

Considere a Figura 11 como um modelo do experimento para explicarmos os padrões de interferência mostrados nos dois anteparos do aparato:

Figura 11 – Interferômetro Virtual e seu esquema experimental



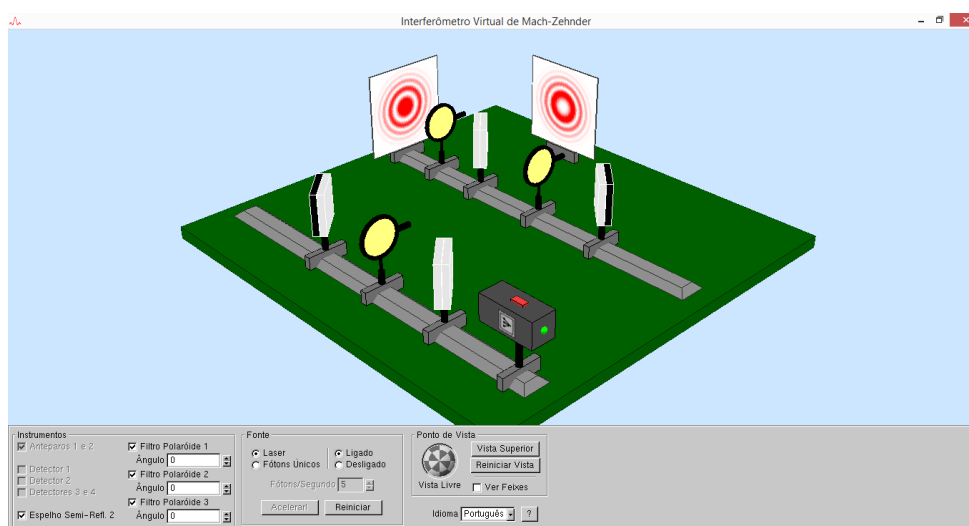
Fonte: HOFFMANN, 2010, pag. 103.

Ligamos a fonte de luz, a qual incide no primeiro espelho semi-refletor S1; 50% da onda incidente é refletida seguindo o caminho B e 50% é transmitida e segue o caminho A; ambas, refletidas e transmitidas, encontram-se com espelhos totalmente refletoras; inicialmente, a onda transmitida encontra o espelho E1 e a onda refletida encontra o espelho E2; os espelhos E1 e E2 refletem 100% essas ondas que se reencontram no segundo semi-espelho S2; neste espelho, os feixes são recombinados e produzem a imagem observada na Figura 11, padrão de anéis claros e escuros alternados nos anteparos. Observe nas Figuras 9 e 11 que um dos

centros de um anteparo é iluminado e o outro não; isto acontece pela ocorrência de uma diferença de fase entre as ondas, refletida e transmitida, sabendo que não há diferença no caminho percorrido por elas. A distância do caminho A é a mesma do caminho B, mas toda onda refletida nos semi-espelhos (espelhos semi-refletores) sofre uma mudança de fase de $\lambda/4$ em relação à onda incidente, e toda onda refletida pelos espelhos comuns (espelhos totalmente refletores) sofre uma mudança de fase de $\lambda/2$; as ondas transmitidas não sofrem mudança de fase quando passam pelos espelhos refletor e semi-refletor (PESSOA JR., 2003).

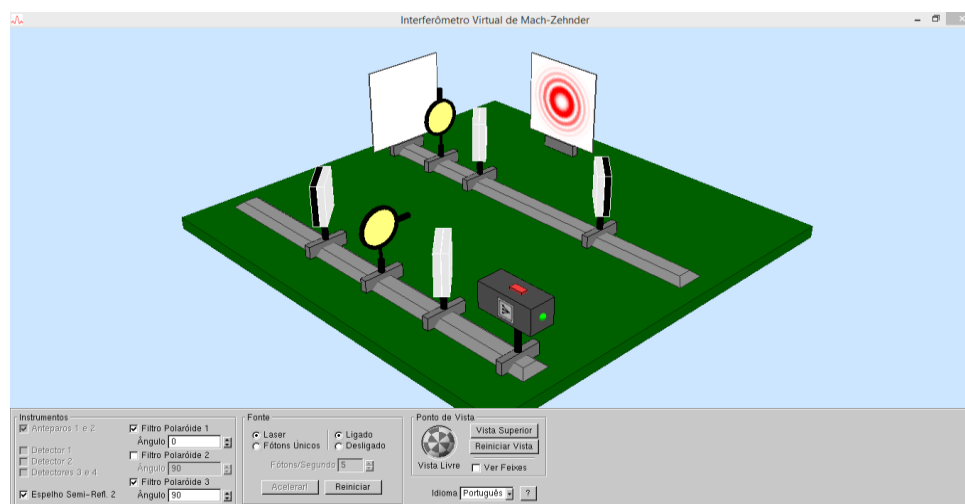
Além das visualizações das figuras anteriores, o professor, junto com seus alunos, pode colocar também no experimento polarizadores (Figuras 12 e 13). Podemos pedir que os alunos analisem o efeito que o filtro polarizador ou os polarizadores (o Interferômetro Virtual possui três opções de polaroides) causam na realização da experiência, quanto à interferência, e o que acontece com a mesma se mudarmos os ângulos dos polaroides. Fazendo isso, utilizando o *software* do Interferômetro de Mach-Zehnder como uma nova metodologia ou estratégia de ensino, tem-se a perspectiva de que o aluno possa ancorar novos conhecimentos (como a visualização dos fenômenos através da utilização das animações), aos obtidos em sala de aula, através do texto de apoio prévio e a explicação do professor para uma aprendizagem significativa.

Figura 12 – Interferência da luz com fonte laser e três polaroides em 0 grau



Fonte: *Print screen* do programa.

Figura 13 – Interferência da luz com fonte laser e dois polaroides em 0 grau e 90 graus



Fonte: *Print screen* do programa.

Como vamos trabalhar com o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder no regime clássico, não marcaremos no “menu de controle”, em Fonte, a opção de Fótons Únicos, mas, se o professor quiser introduzir conceitos básicos da Mecânica Quântica, pode comentar a questão da dualidade onda-partícula da luz, a qual ora se comporta como onda, ora como partícula, dentre outras possibilidades deste aparato experimental, que pode funcionar tanto com *laser*, no regime clássico, como com fonte monofotônica, no regime quântico (PESSOA JR, 1997; HOFFMANN, 2010). Uma ideia para se trabalhar com os dois regimes é fazer com que os alunos comparem os resultados apresentados nos anteparos nas diversas situações, com e sem polaroides e detectores. Portanto, não mostraremos nem discutiremos aqui esta parte do Interferômetro.

2.2 Plataforma PhET

Neste tópico, faremos um breve comentário apresentando ao leitor a plataforma PhET – sigla em inglês para Tecnologia Educacional em Física – como outra opção para se discutir o fenômeno da interferência. Trata-se de um projeto da Universidade do Colorado (EUA) concebido para desenvolver simulações interativas, gratuitas e de alta qualidade em diversas áreas da ciência e matemática. Além de produzir as simulações, a equipe do PhET busca realizar uma avaliação da eficiência de seu uso em salas de aula (ADAMS et al., 2008).

As simulações estão disponibilizadas no sítio <<https://phet.colorado.edu>> para serem utilizadas online ou baixadas gratuitamente. Elas são geralmente desenvolvidas em *Flash* e, se o computador não tiver o *plug-in*, o usuário é direcionado a baixar e instalar o recurso na sua máquina de forma simples.

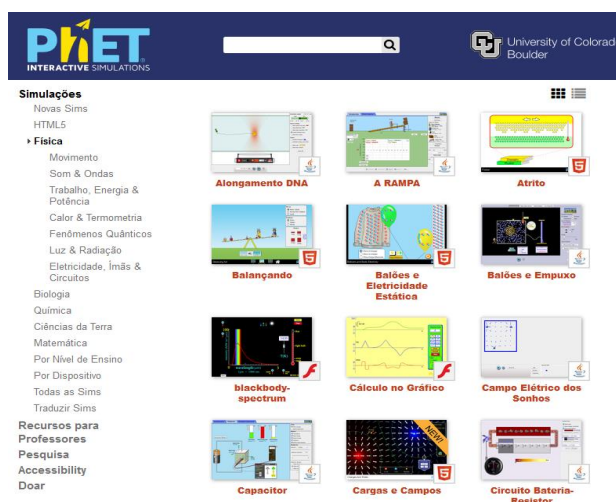
Ao acessar a plataforma do PhET e clicar em “Entre aqui e simule”, observa-se que as simulações, além das que já ficam na tela em destaque, apresentam-se agrupadas:

- Novas Sims;
- HTML5 – o usuário tem a opção de converter as simulações, tornando-as facilmente disponíveis em várias plataformas e dispositivos como laptops e *iPads*;
- Por áreas específicas – Física, Biologia, Química, Ciências da Terra e Matemática;
- Por Nível de Ensino – Primário, Ensino Fundamental, Ensino Médio e Universidade;
- Simulações traduzidas em vários idiomas;
- Por Dispositivo – *iPad/*Tablet e Chromebook;
- Todas as Simulações.

Na área específica de Física, as simulações são agrupadas em 7 categorias:

- Movimento;
- Som e Ondas – categoria onde encontramos o simulador que vamos trabalhar, intitulado “Interferência de Ondas”;
- Trabalho, Energia e Potência;
- Calor e Termometria;
- Fenômenos Quânticos;
- Luz e Radiação;
- Eletricidade, Ímãs e Circuitos.

Figura 14 – Plataforma PhET na área específica Física



Fonte: PHET – INTERACTIVE SIMULATIONS.⁹

O grupo do PhET possui uma abordagem baseada em pesquisa, na qual as simulações são planejadas, desenvolvidas e avaliadas antes de serem publicadas no sítio. As entrevistas realizadas com diversos estudantes são fundamentais para o entendimento de como eles interagem com simulações e o que as torna efetivas educacionalmente. (MIRANDA, 2010, pag. 29)

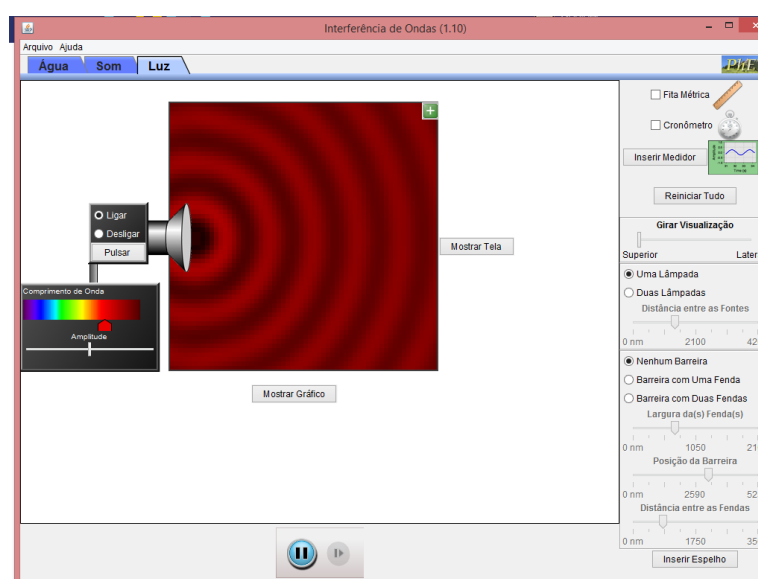
Segundo relatos de *A Brief Introduction to PhET* – “Uma Breve Introdução ao PhET”, disponível no sítio <<https://youtu.be/gKI-9Ksvvg4>> –: um dos principais objetivos do PhET é proporcionar aos alunos um ambiente aberto de exploração onde eles podem realmente se envolver como um cientista no conteúdo científico. Uma técnica utilizada com a Sims é fazer perguntas rápidas para todos responderem para focar no que os alunos estão pensando e tentando processar. Desse modo as pesquisas são direcionadas do modo a aprendermos constantemente sobre como tornar uma Sims eficaz. Assim, uma demonstração pode ser utilizada como uma forma eficaz de descrever para os alunos um sistema dinâmico. Portanto, as Sims são altamente interativas, para que, quando o aluno mover um controle ou criar uma configuração diferente, ele possa receber um retorno imediato sobre o efeito produzido por essa mudança. Desse modo as simulações são versáteis e fáceis de serem utilizadas, cativando os alunos.

⁹ Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics>.

2.2.1 Interferência de Ondas no PhET

O simulador intitulado Interferência de Ondas está disponível na plataforma PhET e será também utilizado em nossas Oficinas com professores, contribuindo para sua formação na perspectiva de possibilitar a inclusão de novas práticas pedagógicas, mostrando as funcionalidades e aplicabilidades do simulador e visando sua aplicação em sala de aula. Observe como se apresenta esta animação na Figura 15, quando selecionada a opção de ondas luminosas:

Figura 15 – Simulador Interferência de Ondas do PhET



Fonte: PHET – INTERACTIVE SIMULATIONS.¹⁰

Observe a Figura 15. Não discutiremos aqui a simulação em si, apenas mostraremos as principais funções do interferômetro. Nesta animação, pode-se trabalhar com três tipos de ondas: mecânicas (água e som) e eletromagnética (luz). Vamos focar no fenômeno da interferência de uma onda luminosa.

No lado esquerdo, temos um aparato experimental constituído por uma fonte de luz e a região em que a onda irá se propagar. Clicando no botão “+” (mais) esta região será ampliada. Podemos também variar o comprimento e a amplitude da onda. Abaixo da região de propagação, quando selecionado, aparecerá o gráfico, além de uma tela em que a onda será projetada.

No lado direito, temos o menu de controle, pelo qual podemos manipular a simulação. Na parte superior do menu, podemos fazer medidas acrescentando um cronômetro, uma fita métrica e também um medidor. Mais adiante, temos a opção de

¹⁰ Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-interference>.

inserir no aparato mais uma fonte de luz, como mostrado na Figura 2, ativando assim o controle de distância entre elas, sendo a unidade utilizada para esta grandeza o nanômetro (nm). Pode-se ainda utilizar barreiras na animação, com uma ou duas fendas. Suas posições podem ser alteradas, além da largura entre elas. Concluímos, então, uma breve apresentação das características e funcionalidades da Interferência de Ondas no PhET.

2.3 Plataforma Moodle¹¹

Neste tópico faremos um breve comentário deste ambiente virtual que é o *Moodle*, pois faremos uso do mesmo em parte de nossa pesquisa.

O *Moodle* é uma plataforma *e-learning* (de aprendizagem *online*) baseada em *software* livre. Significa *Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment* (ambiente modular de aprendizagem dinâmica orientada a objetos).

Segundo Sabbatini (2007), esta plataforma é um sistema consagrado, com uma das maiores bases de usuários do mundo. Suporta dezenas de milhares de alunos em uma única instalação. Além de ter algumas vantagens técnicas, como seu código fonte disponibilizado gratuitamente, e pode ser adaptado, estendido, personalizado etc. pela organização que o adota.

Ainda de acordo com Sabbatini (2007):

A filosofia pedagógica do Moodle também fortalece a noção de que o aprendizado ocorre particularmente bem em ambientes colaborativos. Neste sentido, o Moodle inclui ferramentas que apoiam o compartilhamento de papéis dos participantes (nos quais eles podem ser tantos formadores quanto aprendizes e a geração colaborativa de conhecimento, como wikis, e-livros, etc., assim como ambientes de diálogo, como diários, fóruns, bate-papos, etc. (SABBATINI, 2007)

Suas principais funcionalidades são:

- Registrar alunos na plataforma;
- Criar cursos e editar seus conteúdos e atividades;
- Inscrever alunos e professores em cursos e organizá-los em grupo;
- Atribuir perfis de acesso aos usuários;
- Monitorar o acesso dos utilizadores e o progresso dos alunos;

¹¹ Consultar Roberto Sabbatini (2007) e SFM e-Learning.

- Avaliar notas e desempenho de alunos nos cursos da plataforma.

Observe na Figura 16 um recorte de uma página quando a plataforma é acessada e algumas opções de navegação do lado esquerdo da imagem:

Figura 16 – Layout da plataforma Moodle utilizada



The screenshot shows the Moodle user interface. On the left, there is a 'Navegação' (Navigation) menu with the following items: 'Página inicial', 'Minha página inicial', 'Páginas do site', 'Meu perfil' (expanded), 'Ver perfil', 'Mensagens do fórum', 'Blogs', 'Mensagens', 'Meus arquivos privados', 'Meus badges', and 'Meus cursos'. On the right, the user profile for 'KEVIA HELENA FRANCELINO PIMENTEL' is displayed. It includes a placeholder for a profile picture and a table of user information:

Pais	Brasil
Cidade/Município	Maceió
Cursos inscritos	ATIVIDADES MESTRADOS - MNPEF - PPGECIM, TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO
Primeiro acesso	sábado, 30 agosto 2014, 19:32 (2 anos 157 dias)
Último acesso	sexta, 3 fevereiro 2017, 18:31 (31 segundos)

Fonte: *Print screen* da plataforma.

Sabbatini (2007) explica que para acessar qualquer recurso disponível, alguns são de acesso livre, outros podem ser acessados por visitante, com ou sem uma senha. Os cursos e disciplinas, no entanto, somente podem ser acessados por professores e estudantes mediante uma identificação (*login*) e senha individuais. Todos os participantes também podem registrar seus perfis biográficos, inclusive com fotografia, com a finalidade de humanizar os relacionamentos entre eles.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Fenômenos Ondulatórios da Interferência

A interferência é um fenômeno característico exclusivo das ondas, tanto das ondas mecânicas, que dependem de um meio material para se propagarem, como das ondas eletromagnéticas, que se propagam no vácuo. Ela é resultado da superposição de duas ou mais ondas. Como exemplos da interferência, os livros didáticos trazem, de forma corriqueira, as interferências causadas pelas ondas em cordas, ondas na água, ondas sonoras e ondas luminosas através do experimento da dupla fenda (HEWITT, 2002; VILLAS BÔAS et al., 2010; GONÇALVES FILHO e TOSCANO, 2013).

Uma aplicação da interferência no mundo tecnológico é o uso de películas de monóxido de silício ou filmes finos em para-brisas de carros. A espessura dessas películas pode ser previamente calculada para que haja interferência destrutiva da luz. Este recurso também é utilizado em filmes para vidros de janelas, para a diminuição do aquecimento do ambiente.

Um conjunto de fontes que produzem ondas de mesma frequência e comprimento pode associar uma coerência¹², ou seja, elas vibram em sincronia, em fase. Se as frentes de onda de duas fontes distintas chegam a um ponto em um mesmo instante (em fase) ou com certo atraso (defasadas), seus efeitos podem ser somados ou subtraídos, produzindo o que chamamos de interferência. Quando seus efeitos se somam, a interferência é considerada construtiva; quando ao contrário, isto é, seus efeitos se subtraem, ela é considerada destrutiva (GREF, 2011).

Uma forma de analisarmos a interferência da luz é utilizarmos exemplos desse fenômeno em ondas mecânicas, como ondas sonoras, por serem mais rotineiras.

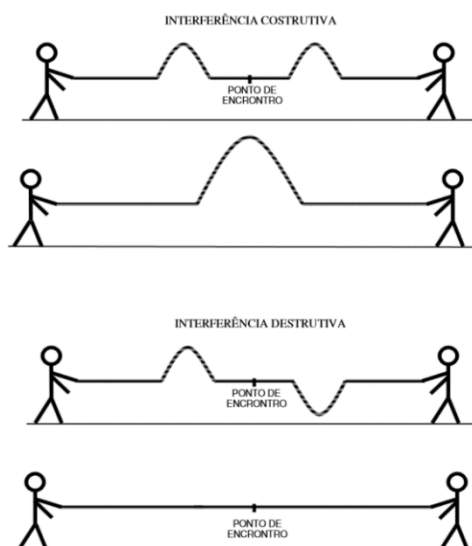
¹² Um conceito importante para observarmos a interferência luminosa é que a diferença de fase entre as ondas seja mantida constante ao longo do tempo. Se essa diferença de fase for constante, dizemos que os feixes são coerentes ou que as ondas são coerentes. O *laser* é naturalmente uma fonte de luz coerente. A condição de ondas coerentes é geral para a interferência e não somente para ondas luminosas. Mais adiante discutiremos melhor a coerência da luz.

3.1.1 Interferência em uma Corda

Observe a Figura 17 e considere ondas sendo geradas nas extremidades da corda; estas ondas se propagam na mesma direção, com mesma amplitude e frequência, mas em sentidos opostos.

Assim, quando essas ondas estão em fase, ocorre superposição formando uma interferência construtiva. Caso essas ondas estejam fora de fase ou defasadas de 180° ou π rad (radianos) ou ainda $\lambda/2$, elas se anulam formando uma interferência destrutiva.

Figura 17 – Interferência construtiva e destrutiva em cordas



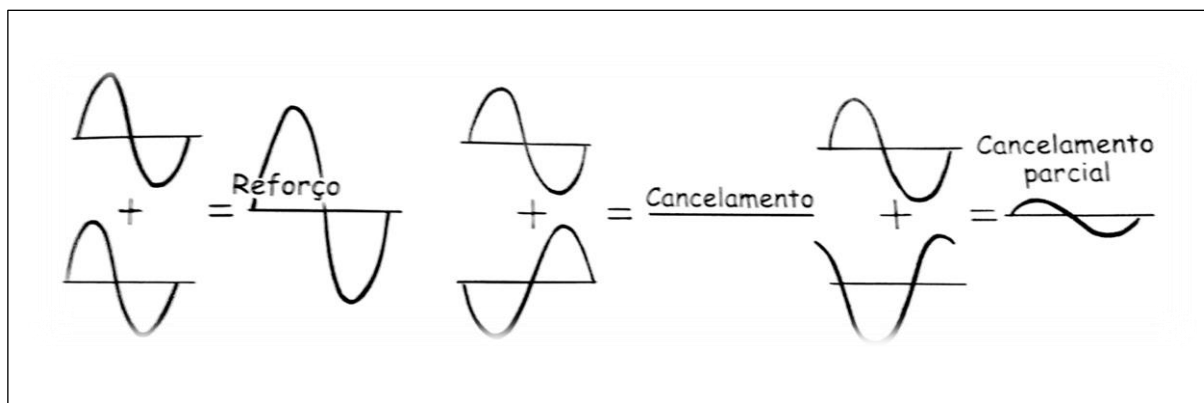
Fonte: HOFFMAN, 2010, pag. 90.

3.1.2 Interferência Sonora

As ondas sonoras também podem apresentar interferência, mesmo sendo uma onda longitudinal, onde a crista da onda sonora corresponde a uma zona de compressão, e seu vale corresponde a uma zona de rarefação.

Temos uma interferência construtiva quando as ondas estão em fase; temos interferência destrutiva quando essas ondas estão defasadas de meio comprimento de onda $\lambda/2$ ou π rad. Com isso, podemos observar a ausência total ou parcial do som. Observe a Figura 18:

Figura 18 – Comportamento de duas ondas sonoras



Fonte: HEWITT, 2002, pag. 499.

A interferência destrutiva é muito útil nos protetores auriculares na tecnologia antirruído. As combinações dos sinais cancelam o barulho produzido pelos aparelhos barulhentos no ouvido da pessoa. Fones de ouvido já são comuns entre pilotos de avião e operadores de britadeiras e a interferência destrutiva é aplicada nos abafadores de som de automóveis, ventiladores e outros, onde a superposição das compressões e das rarefações cancelam cerca de 95% do barulho original (HEWITT, 2002).

Propomos, a título de comparação, que o leitor utilize a opção do simulador PhET que mostra o fenômeno da interferência sonora para melhor entendimento desse princípio em áudio e vídeo, antes de chegarmos, enfim, na interferência luminosa (objetivo principal do nosso estudo, utilizando também outro arranjo experimental, conhecido como Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder).

3.1.3 Interferência Luminosa

A interferência é um importante fenômeno que distingue ondas de partículas. A luz vive esta dualidade quanto ao seu comportamento, ora pode se comportar como onda, ora como partícula. Assim, alguns fenômenos dependem dessa característica peculiar da luz.

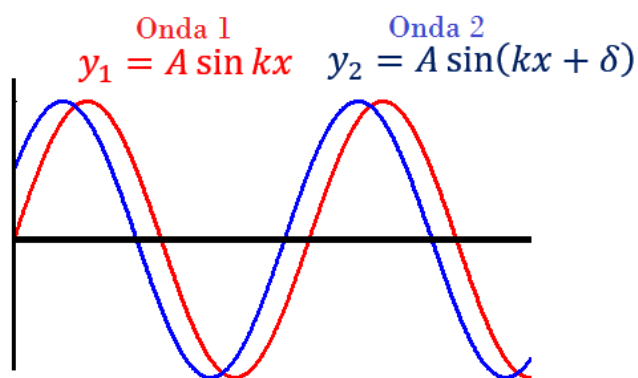
A interferência é a combinação de duas ou mais ondas que se encontram em certo ponto do espaço. Thomas Young observou e constatou a respeito da interferência da luz, em 1801, que a luz se propaga por movimento ondulatório, e não por movimento de partículas, como havia sido proposto por Isaac Newton. Assim, a superposição é uma propriedade do movimento ondulatório. Não existem

situações semelhantes no movimento de partículas, ou seja, elas nunca se sobrepõem (TIPLER, v.1, 2006).

3.1.4 Diferença de Fase

O resultado da superposição de duas ondas de mesma frequência depende da diferença de fase φ entre elas. Se essa diferença de fase é zero ou um inteiro vezes 360° , as ondas estão em fase e interferem construtivamente. A amplitude resultante é igual à soma das amplitudes individuais, e a intensidade – proporcional ao quadrado da amplitude – é máxima. Se a diferença de fase é de 180° ou qualquer inteiro ímpar vezes 180° , as ondas não estão em fase e interferem destrutivamente. A amplitude resultante é então a diferença entre as amplitudes individuais, e a intensidade está em um mínimo. Observe a diferença de fase na figura 19 de duas ondas que têm a mesma amplitude, a mesma frequência e o mesmo comprimento de onda.

Figura 19 – Duas ondas que diferem na fase



Fonte: Autora, 2017.

3.1.5 Cálculo da Intensidade da Luz

Para entendermos melhor acerca da diferença de fase – mencionada anteriormente – vamos considerar duas funções de onda que diferem em fase, para calcularmos a intensidade da luz (*laser*) sobre uma tela em um ponto qualquer P.

Considere os vetores do campo elétrico integrados às ondas luminosas que chegam ao ponto P:

$$E_1 = E_0 \text{sen}(kx - \omega t) \quad (1)$$

$$E_2 = E_0 \text{sen}(kx - \omega t + \varphi) \quad (2)$$

Onde $\omega = 2\pi/T$ é a frequência angular das ondas e T seus períodos; $k = 2\pi/\lambda$ é o número de onda; φ é a diferença de fase, sabendo que a mesma permanece constante, pois a onda luminosa produzida pelo *laser* é uma onda coerente; E_0 é a amplitude do campo elétrico da onda, que é igual para as duas ondas.

Sabendo disso, podemos agora calcular o campo elétrico resultante no ponto P da tela utilizando algumas relações e identidades trigonométricas (TIPLER, v. 2, 2006).

O campo elétrico resultante é a soma das funções. Temos:

$$E_p = E_1 + E_2$$

$$E_p = E_0 \text{sen}(kx - \omega t) + E_0 \text{sen}(kx - \omega t + \varphi) \quad (3)$$

A equação (3) pode ser simplificada pelo uso da identidade trigonométrica:

$$\text{sen } a + \text{sen } b = 2 \cos \frac{1}{2}(a - b) \text{sen } \frac{1}{2}(a + b)$$

Para esse caso,

$$a = kx - \omega t$$

$$b = kx - \omega t + \varphi$$

Logo,

$$\frac{1}{2}(a - b) = -\frac{1}{2}\varphi$$

$$\frac{1}{2}(a + b) = kx - \omega t + \frac{1}{2}\varphi$$

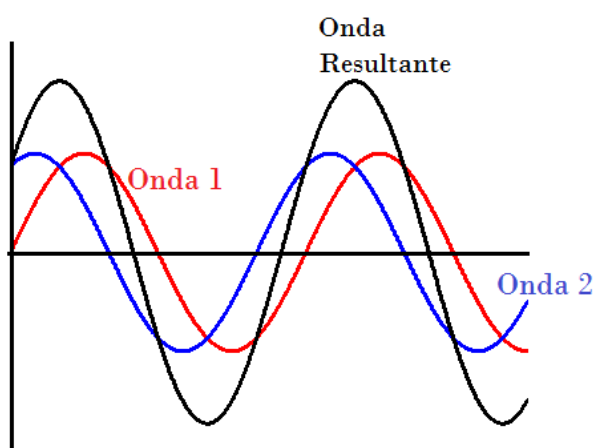
Assim, a função resultante, torna-se:

$$E_p = \left[2E_0 \cos \frac{1}{2}\varphi \right] \text{sen} \left(kx - \omega t + \frac{1}{2}\varphi \right) \quad (4)$$

Onde $\left[2E_0 \cos \frac{1}{2}\varphi \right]$ representa a amplitude da onda resultante.

A Figura 20 representa a superposição das duas ondas descritas nas equações (1) e (2) cuja onda resultante está representada na equação (4). Foram construídas usando o programa Mathcad15.0.

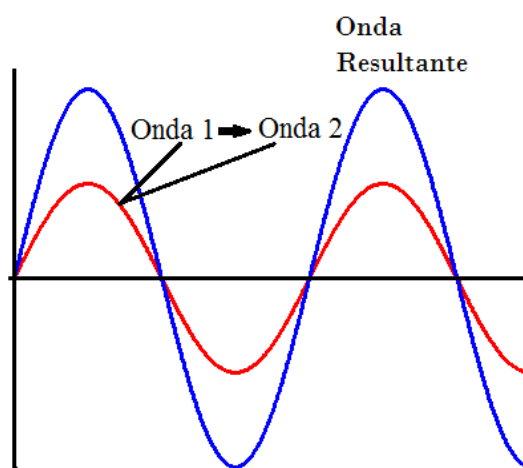
Figura 20 – Interferência de duas ondas de amplitudes diferentes e uma diferença de fase φ



Fonte: Autora, 2017.

Se as duas ondas estão em fase, então $\varphi = 0$, $\cos 0 = 1$, e a amplitude da onda resultante possui seu máximo valor $2E_0$. Essa interferência é chamada de interferência construtiva. Na Figura 21 representamos esta situação.

Figura 21 – Interferência construtiva

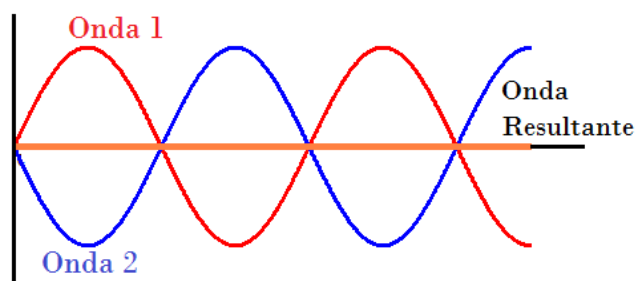


Fonte: Autora, 2017.

Se as duas ondas estão fora de fase ou defasadas em 180° , então $\varphi = \pi$, $\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$, a amplitude da onda resultante será nula, ou seja, possui seu valor

mínimo. A interferência de duas ondas defasadas é chamada interferência destrutiva. Observe o esquema representado na Figura 22:

Figura 22 – Interferência destrutiva



Fonte: Autora, 2017.

Uma vez que a intensidade da onda luminosa é proporcional ao quadrado da amplitude da onda resultante obtida pela equação (4), a intensidade no ponto P da tela é dada pela equação:

$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{1}{2} \varphi \quad (5)$$

Onde I_0 é a intensidade da luz sobre a tela a partir de cada fenda.

Do resultado apresentado na equação (5), podemos concluir que a intensidade pode ser nula quando o cosseno for zero, e atingir o valor de $4I_0$ quando o cosseno for +1 ou -1. Como o cosseno é uma função periódica, então existe uma alternância de máximos (que são as franjas claras), e mínimos (que são as franjas escuras).

3.1.6 Experimento da Fenda Dupla de Thomas Young

O experimento de Thomas Young foi importante para consolidar a teoria ondulatória da luz e demonstrar o cálculo de algumas grandezas como o comprimento de onda da luz.

As ondas que se espalham a partir de S_0 geram frentes de ondas coerentes que passam através de duas aberturas, S_1 e S_2 . A luz ao passar por S_0 se difrata, chegando como ondas esféricas em S_1 e S_2 , propagando-se no anteparo, no qual se observa um padrão de interferência descrito como uma alternância de regiões claras e escuras.

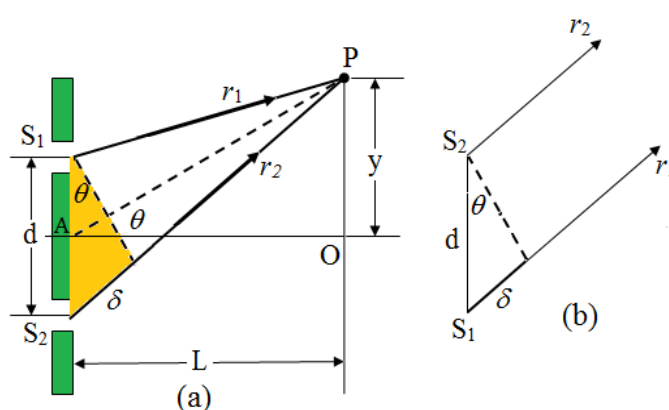
Para realizar essa experiência, Young utilizou a fenda A por não usar uma fonte de luz coerente, mas hoje, com o *laser*, essa fenda A com abertura S_0 pode ser dispensada. Como as frentes de onda são coerentes, isto é, estão em fase, as interferências percebidas na tela dependem apenas da diferença entre os caminhos percorridos pelos raios de luz Δx .

Onde:

$$\delta = r_2 - r_1 = d \sin \theta \quad (6)$$

Aqui fizemos a suposição de que L é muito maior que d de modo que os raios r_1 e r_2 podem ser considerados como paralelos.

Figura 23 – Diferença de caminho proporcionando as franjas de interferência



Fonte: Autora, 2017.

Na figura 23, para existir em P um máximo de intensidade (região clara), é necessário que δ contenha um número inteiro de comprimentos de onda ou um número par de meios comprimentos de onda.

$$\delta = d \sin \theta = m\lambda, \text{ onde } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (7)$$

Para que exista um mínimo de intensidade (região escura), é necessário que δ contenha um número ímpar de meios comprimentos de onda.

$$\delta = d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda, \text{ onde } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (8)$$

Através de uma análise trigonométrica da Figura 23 do experimento da fenda dupla, podemos facilmente determinar os valores do comprimento de onda λ para que no anteparo OP, mostrado na Figura 5(a), tenham franjas claras (interferência construtiva) ou franjas escuras (interferência destrutiva).

Uma vez que $L \gg d$, podemos assumir que $d \gg \lambda$, uma vez que $L \approx 1,0m$, $d \approx 1mm$ e $\lambda \approx 1\mu m$. Portanto para esta situação temos que $\sin \theta \approx \tan \theta$ e para a Figura 5(a):

$$y = L \tan \theta \approx L \sin \theta \quad (9)$$

Para que na posição y tenhamos uma franja brilhante, da equação (7), temos que:

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{d} \quad (10)$$

Substituindo (10) em (9) obtemos:

$$y_{claro} = \frac{\lambda L}{d} m \text{ com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (11)$$

O comprimento de onda da luz para a interferência construtiva é obtido por:

$$\lambda = \frac{y_{claro} d}{mL} \quad (12)$$

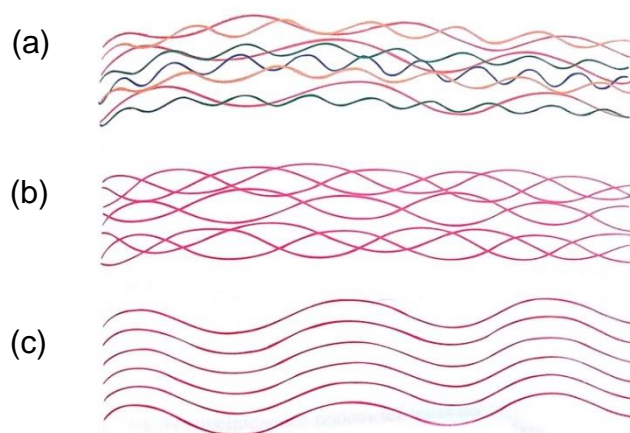
De modo semelhante, o comprimento de onda luminosa para a interferência destrutiva será dado substituindo (9) em (8), de modo que:

$$y_{escuro} = \frac{\lambda L}{d} \left(m + \frac{1}{2} \right) \text{ com } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (13)$$

$$\lambda = \frac{y_{escuro} d}{L \left(m + \frac{1}{2} \right)} \quad (14)$$

A luz de uma vela, do sol ou a luz branca de uma lâmpada possuem vários comprimentos de onda, sendo ondas não coerentes. Observe o esquema da Figura 24, comparando a propagação dessas ondas ao longo do tempo em um ponto fixo do espaço.

Figura 24 – Comparando a propagação de diferentes ondas



Fonte: HEWITT, 2002, pag. 499.

Nesta figura, (a) representam ondas de uma luz branca, com diferentes comprimentos de onda, ou diferentes frequências e defasadas; (b) representam ondas de uma fonte de luz monocromática, com ondas que apresentam diversas defasagens; (c) representa uma fonte de luz monocromática, todas em fase – esta última é a representação da fonte de luz *laser*.

3.2 A Transposição Didática de Chevallard como Ferramenta de Ensino

Cada inovação curricular se torna uma pequena batalha travada entre professores, escola e alunos. Infelizmente, na maioria das vezes, é uma guerra de derrotados, sem qualquer vencedor. (BROCKINGTON, 2005, p. 79)

O cuidado que se tem na abordagem de certos conteúdos da Física no ensino médio não é difícil de ser observado e entendido. Muitos desafios são vivenciados não só pela complexidade dos conceitos da Física em si, mas também da insegurança na mudança no domínio escolar, além do sistema de ensino que dificulta qualquer tipo de inovação.

Muitos professores prendem-se a um ambiente pedagógico sem muita flexibilidade, seja pela carga horária reduzida e/ou pelas condições que lhe são impostas na escola como programas de extensos conteúdos a serem cumpridos, e a pressão na busca de resultados satisfatórios no ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) e demais vestibulares. Não esquecendo as grandes quantidades de turmas, alunos e aulas por dia de trabalho.

São muitos os motivos que tornam o ensino tradicional de Física tão adverso a mudanças. Acreditamos que ao compreender melhor como a produção da comunidade acadêmica chega até a sala de aula, estaremos mais capacitados para produzirmos alternativas, sequências e atividades acerca dos simuladores que contribuam para um bom ensino/aprendizagem dos conceitos à luz da interferência.

3.2.1 A Transposição Didática

A ideia de Transposição Didática foi formulada originalmente pelo sociólogo Michel Verret, em 1975. Para ele, didática é a transmissão de um saber adquirido, dos que sabem para os que ainda não sabem, daqueles que aprenderam para aqueles que aprendem. Porém, em 1980, o matemático Yves Chevallard retoma essa ideia e a insere num contexto mais específico, fazendo dela uma teoria e com isso analisando questões importantes no domínio da Didática da Matemática.

Ele define a Transposição Didática como um instrumento eficiente para analisar o processo através do qual o saber produzido pelos cientistas - Saber Sábio - se transforma naquele que está contido nos programas e livros didáticos - Saber a Ensinar - e, principalmente, naquele que posteriormente aparece nas salas de aula - Saber Ensinado. Chevallard analisa as modificações que o saber produzido pelo cientista sofre até este ser transformado em um objeto de ensino.

O "trabalho" que transforma um objeto do saber a ensinar em objeto do ensinado é denominado transposição didática (CHEVALLARD, 1991 apud BROCKINGTON, 2005).¹³

De acordo com esta teoria, um conceito, ao ser transposto de um contexto a outro, sofre muitas e profundas modificações. Segundo Astolfi e Develay (1995) apud Brockinton (2005), ao ser ensinado, todo conceito mantém semelhanças com a ideia originalmente presente em seu contexto da pesquisa, porém adquire outros significados próprios do ambiente escolar ao qual será alojado. Esse processo de transposição transforma o saber, conferindo-lhe um novo status epistemológico.

A ideia da necessidade de algum tipo de adaptação do conhecimento quando se trata de ensiná-lo pode ser considerada virtualmente unânime no meio educacional, tanto nos escritos teóricos do campo, quanto no senso comum dos que participam de relações de ensino-aprendizagem. (LEITE, 2004, p. 46)

¹³ Tradução original: "El "trabajo" que transforma de un objeto de saber a enseñar en un objeto de enseñanza, es denominado la *transposición didáctica*."

Para Chevallard, o conhecimento é definido como a própria relação pessoal ou institucional estabelecida com os objetos do mundo, sendo o estudo a busca individual ou coletiva desse conhecimento. Já a didática, por outro lado, seria a “ciência do estudo” ou “ciência do didático”, referindo-se a qualquer aspecto dos muitos processos de estudo ocorridos cotidianamente no âmbito escolar, não sendo exclusivo no processo de ensino-aprendizagem, pois nem toda relação com qualquer objeto constitui um estudo ou didático, posto que este pressupõe intencionalidade:

Existe o didático quando um sujeito Y tem a intenção de fazer com que nasça, ou que se modifique, de alguma maneira, a relação de um sujeito X com um objeto O (certamente, pode acontecer que $Y=X$) (CHEVALLARD,1991 apud BROCKINGTON, 2005)¹⁴.

3.2.2 O Ensino de Física e a Transposição

De forma empírica, podemos dizer que existe certa carência, por parte dos professores, de materiais instrucionais e atividades experimentais relativos à interferência luminosa disponíveis para o ensino médio. Daí a importância do nosso trabalho como ferramenta de ensino, tendo materiais e atividades experimentais produzidas acerca de conceitos fundamentais da interferência.

Assim, a transposição didática será utilizada em nosso trabalho como ferramenta de análise na produção de materiais instrucionais e atividades experimentais desenvolvidas, buscando enfrentar o desafio que é ensinar Física, e principalmente conceitos relacionados à interferência da luz.

Ideias, conceitos e teorias presentes no ensino de Física são transpostos para programas escolares e livros didáticos a partir do conhecimento produzido pelos cientistas e aceito de forma consensual pela comunidade acadêmica. Esse conhecimento deve ser adaptado para a sala de aula, surgindo assim, a ideia de que o ensino traz embutido uma simplificação do saber.

Essa simplificação dos saberes aparece como uma boa estratégia para descomplicar o que parece ser complicado, a Física produzida em ambientes de pesquisa científica.

¹⁴ Tradução do original: Il y a du didactique quand un sujet, Y, a l'intention de faire que naisse, ou que change, d'une certaine manière, le rapport d'un sujet, X, a un objet, O (bien entendu, il se peut que $Y = X$).

Para Alves-Filho (2000) e Brockington (2005) essa ideia de simplificação pode ser errônea e equivocada, geradora de interpretações duvidosas. O professor, por exemplo, não questiona, ao preparar sua aula, a modificação da derivada (dx), que é substituída pelo sinal de variação (Δx). Essa modificação torna-se para ele familiar, mas, torna-se um problema quando é considerada apenas para fornecer uma linguagem acessível para o aluno de forma neutra, considerada como algo natural no sistema didático. Para Ofugi (2001, p.68) não existe uma neutralidade na apresentação dos conteúdos, mas sim a criação de uma Física Escolar. Já Johsua e Dupin (1993) apud Brockington (2005) insinuam a ideia de neutralidade quando afirmam que os fenômenos são apresentados como dados da natureza e livres da intervenção humana.

Ou seja, alguns conceitos são simplificados a ponto de serem apresentados com erros conceituais, ou a simplificação é tanta que acaba se tornando inteligível ao aluno. Sem entendimento, aquele conhecimento não demonstra nenhum significado ao estudante. Vemos no comentário de Robilotta uma sensação coerente deste aspecto da simplificação:

O conhecimento englobado pela Física forma um corpo articulado de modo complexo, e parte da dificuldade de se ensinar essa disciplina advém do fato de não reconhecermos ou considerarmos essa complexidade em toda a sua extensão. Ao tratarmos de modo simplificado um corpo de conhecimento que é muito complicado e repleto de sutilezas, podemos acabar por fazer com que ele se torne inteligível aos estudantes. (ROBILOTTA, 1988, p. 7)

Existem modelos simplificados que remetem ao processo de modelagem científica. Estes modelos auxiliam o aprendizado, pois transformam situações complexas em situações mais simples. Um problema analisado é que este aspecto modelador, que é diferente da simplificação, não é informado ao aluno-leitor. Isto impede a percepção do saber científico, do pensamento crítico quanto aos problemas que analisa e uma limitação conceitual – o aluno acha que todas as situações com aquele problema acontecem daquela forma. Um exemplo na Física em que percebemos esta modelagem científica é quando desprezamos as dimensões de um corpo na situação em que ele é muito pequeno em comparação ao ambiente; a abstração dos atritos quando se analisa o movimento de um carrinho; a apresentação do campo elétrico de um condutor eletrizado (quase que exclusivamente um condutor esférico) sem a abordagem da Lei de Gauss de análise da simetria do campo. Certamente, o exemplo do atrito nunca foi objeto de pesquisa;

já o do campo elétrico é mostrado usando uma modelagem científica para que a assimilação seja mais efetiva. (JAPIASSÚ; PIMENTEL, 2014).

Esta “simplificação” gera, na verdade, um novo saber, com novo estatuto epistemológico, o Saber Escolar (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 390). É preferível que se crie um novo saber. O que se deseja descobrir, o rigor, a motivação, as condições do entorno e o contexto na escola são diferentes quando comparados ao trabalho da pesquisa científica. A comprovação de que existe um saber diferente e adaptado ao contexto escolar é que existem atividades, exercícios, objetos e áreas de estudo que não estão conectados com as áreas de pesquisa que deram fundamentação àqueles conteúdos.

É preciso entender que as simplificações fazem parte do processo de Transposição Didática. Em muitas vezes, é preciso restringir o conteúdo para que ele se enquadre melhor à realidade do ser que recebe o conhecimento. A linguagem, a abordagem e o formalismo empregado na pesquisa científica são distintos daqueles empregados na realidade escolar. A maturidade do aluno é diferente da maturidade do pesquisador. A gama de conceitos adquiridos pelo pesquisador é, em geral, maior – quando consideramos sua área de atuação. Por tudo isso, vemos que as simplificações são importantes durante este processo.

Quando analisamos a evolução do saber que se encontra na sala de aula através da Transposição Didática, passa a ser possível uma fundamentação teórica para uma prática pedagógica mais reflexiva e questionadora (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005). Desta forma, podemos dizer que este processo auxilia o professor a obter uma gama de conhecimentos maior e mais elaborada, onde, conhecendo melhor o conceito que vai abordar, capacita-se a trabalhar com ele de uma forma mais objetiva, eficiente e autônoma.

As escolhas e adaptações são as únicas saídas quando deve-se fazer caber três ou quatro séculos de Física em duas ou três aulas semanais ao longo de três anos. (BROCKINGTON, 2005, p. 87)

3.2.3 Estrutura da Transposição de Chevallard

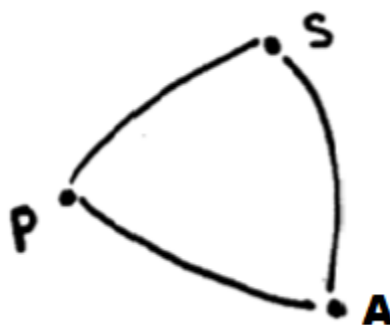
Para Chevallard, um dos principais questionamentos da didática é como se relaciona o Saber Ensinado com o Saber Sábio. Através dos elementos da transposição, pode-se entender a passagem do Saber Sábio para o Saber Ensinado.

As relações entre esses saberes são construídas dentro de um ambiente tido como Sistema Didático, que, para Chevallard, une em um mesmo ambiente professores e alunos que compartilham o saber como objeto de ensino e aprendizagem.

Já o Sistema de Ensino é tido como um ambiente externo mais amplo, que reúne o conjunto de sistemas didáticos. Sendo assim, as escolas seriam um exemplo de Sistema Didático, e as escolas e o sistema educacional de um país seriam um exemplo do Sistema de Ensino.

Chevallard mostra que para compreender as relações que ocorrem dentro do sistema de ensino, deve-se incluir o saber como elemento fundamental. Assim o saber escolar acontece numa relação com três elementos: o professor, o aluno e o Saber Ensinado.

Figura 25 – Relação Professor-Aluno-Saber



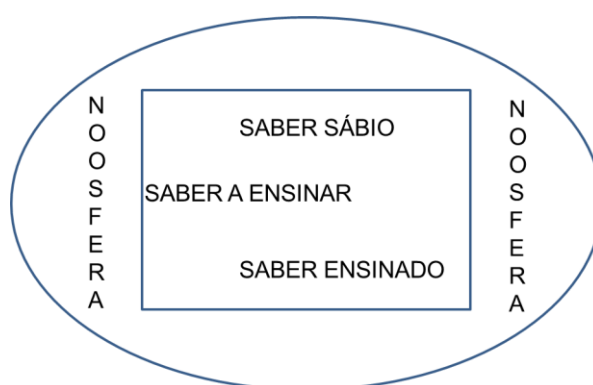
Fonte: Autora, 2017.

O Sistema de Ensino é inserido em um contexto ainda mais amplo que é a sociedade, sendo a mediação entre a sociedade e tal sistema realizada pelo que Chevallard denomina de *noosfera*. Devemos lembrar que nem tudo que chega do ambiente externo pode ser inserido na sala de aula, então a noosfera faz o papel de regular, selecionar, as modificações que o Saber Sábio sofrerá. Assim ela pode ser tida como um ambiente que reúne as três esferas do saber: Saber Sábio, Saber a Ensinar e Saber Ensinado, e é composta por membros da sociedade como cientistas, professores, autores de livros didáticos, pais de alunos etc. Logo, um importante papel dos membros que compõem a noosfera é definir quais temas são concernentes e poderão constar nos currículos, além de prescrever como o professor deverá tratar tais temas e realizar sua prática, como mostra os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio - PCNEM.

Outro papel importante da noosfera é tentar ajustar a realidade da escola com as necessidades sociais através dos secretários de educação, editores de livros didáticos, membros governamentais dentre outros, na busca de uma instituição que possa formar cidadãos críticos, atuantes, capazes de tomar decisões e fazer escolhas.

Para Chevallard, a noosfera é o centro operacional do processo de transposição, mediando toda a modificação do saber.

Figura 26 – Noosfera como mediadora no processo de transposição



Fonte: Autora, 2017.

Cabe fazer aqui uma síntese das esferas do saber proposta por Chevallard, que integram a noosfera, seus membros participantes de cada grupo, seus conceitos e diferenciação, para que saibamos identificar cada um dos saberes.

I – O Saber Sábido ou “Conhecimento Científico”

Os conhecimentos científicos, à medida que são elaborados, passam por processos de codificação, revestidos de uma linguagem que apenas a comunidade científica, a que este pertence pode compreender. (BATISTA FILHO et.al, 2012)

A linguagem utilizada em sala pelo professor não é a mesma linguagem aplicada pela ciência. Para que o conhecimento científico seja apresentado ao aluno é preciso que ele possua uma fonte de referência, o Saber Sábido, produzido pela comunidade acadêmico-científica. Ele pode ser encontrado em congressos, periódicos, revistas específicas para este fim.

O Saber Sábido tem origem a partir dos trabalhos de intelectuais e cientistas que, mesmo com conflitos de ideias e diferentes pontos de vista sobre a Ciência, todos fazem parte do mesmo grupo ou comunidade de pesquisa, definindo, portanto, um perfil epistemológico.

II – O Saber a Ensinar

Um conteúdo do Saber Sábido sofre um conjunto de transformações para torná-lo mais acessível ao nível cognitivo e a realidade local do aluno, tornando-o apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino, o Saber a Ensinar.

O conhecimento científico é organizado na forma de conteúdos escolares, didaticamente elaborados para permitir sua transmissão por parte do professor e uma possível assimilação por parte dos alunos. Os conteúdos são um conjunto de saberes que o contexto social vigente compreende como necessário a ser transmitido às novas gerações. (DOMINGUINI, 2008)

O Saber a Ensinar é, portanto, o saber encontrado nos livros didáticos, programas e materiais instrucionais. Os autores dos livros didáticos reforçam a ausência de tempo e de lugar do saber e tornam-se intérpretes desses saberes originais, responsáveis por modificações e adaptações que podem gerar deformações significativas entre o saber original e o Saber a Ensinar. Isto se deve aos conflitos e a diversidade do grupo que compõe essa esfera do saber caracterizado por professores, especialistas de cada área e autores de livros, que contribuem para a transposição do Saber Sábido e o que dele deve ser transposto, objetivando a melhoria do ensino-aprendizagem.

O saber a ensinar é produto organizado e hierarquizado em graus de dificuldade, resultante de um processo de total descontextualização e degradação do saber sábio. Enquanto o saber sábio apresenta-se ao público através das publicações científicas, o saber a ensinar faz-se por meio dos livros-textos e manuais de ensino. (PINHO ALVES, 2000)

III – O Saber Ensinado ou “Conhecimento Escolar”

Nessa transposição do Saber a Ensinar em Saber Ensinado, o professor é o personagem principal, sendo responsável pelas adequações necessárias do conhecimento que será transmitido ao aluno. Ou seja, nessa fase o professor poderá fazer a interferência na transmissão do conhecimento, de acordo com seu contexto e ideologia. Recontextualização é o nome atribuído a essa segunda transformação. É nessa esfera que o professor e a escola têm autonomia suficiente para decidir quais os conteúdos que deverão ser abordados em cada série, assim como decidir quais as obras didáticas que servirão de referência no desenvolvimento das aulas. Assim,

o Saber Ensinado é aquele presente nos registros dos professores, em seus planos de aula, nos materiais de apoio e nas aulas que ministra.

Na esfera do Saber Ensinado, todos os membros convivem em um mesmo ambiente que é a instituição escolar. Fazem parte deste grupo da noosfera os proprietários de estabelecimentos de ensino, os supervisores e orientadores educacionais, a comunidade dos pais e os professores. Assim, o professor, desde o instante em que prepara suas aulas, tem que fazer a mediação entre os interesses dos membros desta esfera e os fins didáticos de sua prática.

[...] a produção do saber ensinado evidencia os obstáculos e desafios da construção de uma metodologia de ensino que não pode ser dissociada da questão dos valores e anseios da sociedade, do próprio objeto de ensino, e nem dos aspectos e objetivos próprios da aprendizagem. (BROCKINGTON, 2005, p. 99)

Surge, então, uma capacidade de questionar a transformação e a adequação do Saber a Ensinar em Saber Ensinado, esse questionamento fornecerá indícios de como efetuar a atualização curricular.

Reconhecemos que, para trabalhar a interferência luminosa (padrões de interferência da luz), devemos estar atentos à transposição e o que traz o livro didático a respeito do tema, visto a dificuldade de se mostrar na prática tal conteúdo e o desejo de propiciarmos um ensino diferenciado, mais interessante e motivador, através da Física Experimental, por exemplo, no nosso caso, utilizando o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder e Interferência de Ondas do PhET como opções.

3.2.4 O processo da Transposição

Refletir sobre o processo de construção dos conteúdos de ensino pela via da epistemologia a partir da tese defendida por Chevallard significa interpretar a mediação didática como um movimento específico, cuja dinâmica precisa ser desvelada. Chevallard afirma que a transformação do Saber Sábio em Saber Ensinado se faz em duas etapas: uma transposição externa, no plano do currículo formal e dos livros didáticos (pertencente à seleção dos conteúdos de saber a ensinar até chegar à escola), e outra interna, no decorrer do currículo em ação, em

sala de aula (refere à apropriação do conteúdo pela escola e à chegada desse ao aluno).

A transposição já ocorre no Saber Sábio. Para Reichenbach (1961) apud Brockington (2005) existem dois momentos diferentes no processo de construção dos saberes: um deles é chamado 'Contexto da Descoberta', no qual os cientistas procuram a solução de um problema; o outro momento é chamado de 'Contexto da Justificação', em que o cientista já encontrou a resposta do problema que passará pelo julgamento da comunidade e validará ou não tal conclusão. Ou seja, no 'Contexto da Descoberta', o cientista utiliza a imaginação, a intuição dentre as mais variadas formas para solucionar um problema. Já no 'Contexto da Justificação', o fruto do trabalho realizado pelo cientista se transforma em um artigo a ser publicado nas revistas científicas especializadas em sua área.

Assim com o aval da comunidade científica, o saber passa pela sua primeira transformação, tida como 'despersonalização', sendo escrito com neutralidade de sentimentos, de forma a não parecer vinculado aos indivíduos, mas de valor universal. Após esse processo tem-se a 'descontextualização', o cientista elimina as condições contextuais de sua pesquisa e, assim, busca atingir níveis mais amplos de abstração e universalidade.

Quando um conhecimento passa por todas essas etapas, estará pronto para ser validado e compor, depois de sua aprovação pela comunidade científica, a esfera do Saber Sábio. Entretanto, isso não significa que este Saber fará parte do currículo escolar, pois aquele Saber que integra a sala de aula e passa a configurar nos livros didáticos sofrerá outras transformações.

O Saber Sábio depois de aceito se encontra despersonalizado e descontextualizado. Este último cria uma 'dessincretização', ocasionando uma perda do contexto problemático e epistemológico ao qual está ligada a pesquisa, tornando-a desligada e fora de sintonia. Como por exemplo, alguns livros didáticos trazem primeiro carga elétrica produzindo campo elétrico, e depois falam de força elétrica. São conceitos distantes no tempo e epistemologicamente diferentes, mas que aparecem próximos para fins didáticos.

Um conhecimento na esfera do Saber a Ensinar é "recontextualizado" com o objetivo de torná-lo mais acessível ao aluno e diferente daquele que o originou. Nessa esfera, cria-se outra rede epistemológica para esse saber, de modo que ele agora precisa ser reagrupado e apresentado nos livros didáticos e programas

curriculares de maneira organizada. Chevallard define esse processo de reestruturação do Saber como ‘textualização’. Além dessa textualização na transposição do Saber Sábido no Saber a Ensinar, para Astolfi (1995) apud Brockinton (2005), existe ainda outro processo que ele chama de “dogmatização” – tendência dos cientistas de valorizarem a experimentação e a observação no ato da produção do conhecimento, onde os saberes são tratados como dados e como verdades da natureza.

Essa organização do saber agora obedece a uma hierarquia conceitual. Por exemplo, para o ensino da aceleração, deve-se primeiro ensinar velocidade, depois tempo. Para o ensino da interferência como um dos fenômenos da ondulatória, deve-se por hierarquia, segundo o que apresenta os livros didáticos, ensinar primeiro a classificação das ondas, suas propriedades e as grandezas associadas a elas.

Essa transposição didática que é feita no ensino de Física, tanto em sala de aula quanto no material de ensino, pode ser vista como algo ruim e prejudicial ao saber, no entanto é inevitável para torná-lo apto para o aprendizado, onde o conhecimento é extraído de seu contexto científico.

3.2.5 As regras da Transposição Didática

Segundo Astolfi (1997) apud Brockinton (2005), durante o processo de transposição didática deveriam ser observadas cinco regras que permitem descrever as transformações do saber. São elas:

I. A Modernização do Saber Escolar

Com o avanço da ciência e da tecnologia, surge a necessidade de atualização de novos conteúdos passíveis de estarem incluídos no livro didático, interligando o que é produzido no âmbito acadêmico com o que é apresentado na escola.

A introdução de tópicos como “código de barras, funcionamento de um CD, termômetros óticos, fotocopadora...”, por exemplo, são os indicativos de uma modernização do saber a ensinar. (ALVES-FILHO, 2000, p.235).

II. A Atualização do Saber a Ensinar

Sabemos da importância da renovação curricular no sistema educacional. À medida que o tempo passa, surgem novas tecnologias e o conhecimento tende a ser moldado acompanhando esta evolução do saber.

Quando nos deparamos com alguns livros textos desatualizados, observamos a necessidade de revisar cuidadosamente alguns conteúdos, na intenção de eliminarmos aqueles que ficaram, ao passar do tempo, obsoletos. Uns passam a dispensar o formalismo escolar, outros perdem o significado por razões extracurriculares.

III. A Articulação do Saber 'novo' com o Saber 'Antigo'

A inserção de novos saberes no currículo escolar deve ser feita de forma articulada com os saberes já existentes. Exemplo dessa articulação do saber novo com o antigo é a teoria da Relatividade Restrita de Einstein e suas consequências com as Leis e suas aplicações de Isaac Newton; ou ainda a introdução do eletromagnetismo sem abandonar a eletrostática. Um novo conhecimento é proposto posteriormente refutando algumas ideias já preestabelecidas do velho. Isso nos leva a refletir sobre a importância dessa articulação, já que a negação radical ou total de certo conteúdo pode gerar uma desconfiança e torná-lo dispensável por parte do aluno.

IV. A Transformação de um Saber em Exercícios e Problemas

Segundo Astolfi (1997) apud Brockinton (2005), certos conteúdos, descontextualizados em relação ao seu conceito original quanto a sua função, são particularmente fáceis de gerar uma gama de exercícios e atividades didáticas. O formalismo do Saber Sábio, quando transposto para se tornar um Saber a Ensinar, tem grandes chances de se manter em sala de aula como Saber Ensinado.

Esta regra, segundo Alves-Filho (2000), tem um alto grau de importância no processo de transformação do saber, por criar uma relação direta com o processo de avaliação. Quando o Saber a Ensinar é transposto para o livro didático ele deve seguir alguns pré-requisitos tidos como ordenamento crescente de dificuldades. A confirmação da aprendizagem e do domínio do conteúdo por parte do aluno pode ser obtida através do seu desempenho e da sua habilidade de solucionar problemas e exercícios.

V. Tornar um Conceito mais Compreensível

O saber a ensinar desenvolve uma linguagem própria, compatível com o nível de entendimento do estudante. Neste processo são criados objetos didáticos que permitem inserir elementos novos e facilitadores do aprendizado, assim como utilizar uma matemática adequada para aqueles que estão sendo iniciados neste tipo de saber. (ALVES-FILHO, 2000, p.238)

O que se pretende *a priori* com a transposição didática é permitir a aprendizagem de conceitos, ou seja, torná-los mais compreensíveis para o estudante, minimizando suas dificuldades. Caso isso aconteça, podemos afirmar que a transposição foi válida.

A valorização do saber levando em consideração as regras apresentadas acima pode nortear a construção das atividades e sua adaptabilidade ao ambiente no qual será inserida.

Por ser uma disciplina de longa tradição, os conteúdos da Física presentes no currículo sofrem pouquíssimas modificações ao longo de décadas. Existe a necessidade de modernização e atualização dos saberes, no entanto, raramente isso ocorre nas ciências em geral e principalmente na Física. Segundo Brockington (2005), tais necessidades muitas vezes são relativizadas em face de dificuldades internas ao próprio conhecimento como ‘aproximações’ – é o caso da mecânica newtoniana, tendo sido suplantada pela relatividade de Einstein – e ‘hermeticidade’ - pela sua estruturação conceitual, abstração e formulação em linguagem matemática, os conhecimentos presentes na Física são poucos assimiláveis pela cultura popular, ou seja, mesmo conteúdos extremamente antigos, como a cinemática, ainda hoje não fazem parte do senso comum dos indivíduos do século XXI. Para se trocar um saber, como a cinemática, é necessário colocar algo semelhante em operacionalidade em seu lugar. Assim, procuram-se substitutos dentro do próprio Sistema Didático, recorrendo ainda a conhecimentos “velhos”, deixando de fora os conteúdos atuais.

[...] a Transposição Didática é uma ferramenta de análise. Ela só permite dizer como o processo de inclusão de saberes no ambiente escolar se dá, e não diz se o que se tem é um bom ou mau ensino. (BROCKINGTON, 2005, p. 99)

3.3 Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel: um breve comentário

A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel faz parte de uma linha de pesquisa de uma teoria mais geral, que é a filosofia construtivista. Além de Ausubel, outros pensadores também fazem parte dessa corrente filosófica, mas com enfoques diferentes. Por exemplo, Piaget dá ênfase ao desenvolvimento cognitivo; Vygotsky, na teoria da mediação; Kelly enfoca a teoria dos construtos pessoais. Mas todas essas teorias podem ser interpretadas em termos de aprendizagem significativa, ou seja, tratam-se de analogias que permitem dar significados ao conceito de aprendizagem significativa.

O conceito de aprendizagem significativa foi proposto originalmente na teoria de David Ausubel (1968) apud Moreira (2006) e significa uma aprendizagem na qual a nova informação se relaciona com a estrutura cognitiva do indivíduo. Ausubel diz que existe aprendizagem significativa quando o novo conhecimento se relaciona de maneira não arbitrária e não literal ou substantivamente à estrutura cognitiva do aprendiz. Uma aprendizagem é dita não arbitrária quando a informação se relaciona com determinados conhecimentos relevantes e não com quaisquer conhecimentos já presentes na estrutura cognitiva do aluno. Ou seja, os novos conhecimentos são aprendidos de forma significativa quando se relacionam com determinados conhecimentos que foram apreendidos anteriormente pelos alunos, como se o novo conhecimento tivesse um endereço definido, não ocorrendo de forma aleatória. Já a não literal significa que o estudante deve aprender a substância (essência) do conteúdo e deve ser capaz de expressar o conhecimento usando outras palavras diferentes das utilizadas pelo seu professor, mostrando que ao utilizar o seu próprio vocabulário ele é capaz de entender a substância do novo conteúdo. Caso tal conteúdo não se relacione de forma não arbitrária e substantiva, na estrutura cognitiva do estudante não haverá uma aprendizagem significativa e sim uma aprendizagem mecânica ou automática.

Neste trabalho, como será descrito na metodologia, pretendemos analisar de forma qualitativa, se houve ou não uma aprendizagem de forma significativa a respeito de conceitos atrelados à interferência da luz, utilizando um experimento prático e aplicando um questionário, com foco no professor, personagem principal da transformação do saber, já comentado anteriormente na Teoria da Transposição de

Chevallard, e de forma que ele possa exercitar o que foi aprendido com seus alunos, sendo o mediador do conhecimento.

Segundo Moreira (2006), para que a aprendizagem seja significativa, o material trabalhado deve ser potencialmente significativo e o aprendiz tem que manifestar o interesse de aprender. A primeira dessas condições implica que o material tenha significado lógico e que o aprendiz tenha disponível, em sua estrutura cognitiva, 'subsunçores' específicos.

O ponto central desta teoria é o que Ausubel chama de subsunçores – palavra criada por ele – para definir conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do indivíduo.

O "subsunçor" é um conceito, uma ideia, uma proposição já existente na estrutura cognitiva, capaz de servir de "ancoradouro" a uma nova informação de modo que esta adquira, assim, significado para o indivíduo [...] (MOREIRA, 2006, p. 15).

3.2.1 Os Organizadores Prévios: Uma Ponte entre a Teoria da Transposição de Chevallard e a Aprendizagem Significativa de Ausubel

Quando o aluno não possui subsunçores relacionados a um tema específico, devemos, segundo Ausubel, promover a existência do mesmo através de organizadores prévios, que são materiais didáticos elaborados pelo professor, previamente ao tema abordado em aula.

Moreira (2006) afirma que os organizadores prévios podem ser usados para reativar significados esquecidos, buscando na estrutura cognitiva do aluno significados que existem, mas que não estão sendo usados há algum tempo no contexto da matéria de ensino.

A principal função dos organizadores prévios é, então, a de preencher a lacuna entre o que o aluno já sabe e o que ele precisa saber, a fim de que o novo conhecimento possa ser aprendido de forma significativa. (MOREIRA, 2006, p.15)

Esse material pode ser um texto com o assunto que se quer ministrar, como pretendemos em nosso trabalho: organizar um material de apoio prévio para o professor, amparado pelo que traz a Teoria da Transposição de Chevallard (modificações e simplificações necessárias com uma linguagem acessível), com o objetivo final de promover uma aprendizagem de forma significativa para o

estudante, utilizando além dos textos de apoio, o simulador Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder para explicar fenômenos da interferência da luz.

São propostos, então, textos de apoio prévio acerca dos fenômenos ondulatórios com ênfase na interferência da luz, além de guias experimentais que podem ser trabalhados pelos professores juntamente com seus alunos utilizando o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder. Seguindo as características ausubelianas, tal material deve ser passível de apreensão e ser apresentado em termos familiares para o aluno, com o objetivo de, ao fazermos a transposição de certos conceitos, modificar e transformar o conhecimento em Saber Ensinado até o mesmo ser transposto novamente na sala de aula entre professor-aluno.

O texto de apoio prévio e os guias experimentais readaptados podem ser assim considerados um material útil, e que contém organizadores prévios, já que possibilitam ao professor utilizar conceitos familiares atrelados à ondulatória, principalmente aos fenômenos da interferência, quando fazemos analogias com exemplos do cotidiano. É o caso do som e da corda, partindo também de experimentos que o professor já conhece na descrição da interferência, que é o experimento da Dupla Fenda de Young.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1 Metodologia

Ao revisarmos a literatura, buscamos classificar nossa pesquisa quanto à natureza e forma de abordagem. Tentamos organizar as ideias descrevendo os procedimentos metodológicos, a escolha do local e a quantidade de amostra que devemos avaliar, buscando um número significativo de dados para obtermos uma análise expressiva dos resultados.

Não é objetivo principal deste capítulo aprofundarmos no estudo teórico acerca de metodologias de pesquisa, já que não existe uma única metodologia que abarque todos os fenômenos educacionais. A metodologia de pesquisa deve ter uma estrutura apropriada para a compreensão do que está sendo estudado, assim vamos nos preocupar em definir e justificar o método que na nossa hipótese seja o mais adequado com base nos nossos objetivos.

Alguns autores estabelecem características essenciais capazes de identificar uma pesquisa do tipo **qualitativa**, assim como Godoy (1995a), que enumera um conjunto de quatro dessas características:

- 1) O ambiente natural como fonte direta de dados e o pesquisador como instrumento fundamental;
- 2) O caráter descritivo;
- 3) O significado que as pessoas dão às coisas e à sua vida como preocupação do investigador;
- 4) Enfoque indutivo.

Günther (2006) descreve um conjunto de cinco atributos da abordagem qualitativa:

- 1) Características gerais – a pesquisa é percebida como um ato subjetivo de construção, é uma ciência baseada em textos;
- 2) Coleta de dados – produz textos que nas diferentes técnicas analíticas são interpretados hermeneuticamente;
- 3) Objeto de estudo – a ênfase na totalidade do indivíduo como objeto de estudo é essencial para a pesquisa qualitativa;

- 4) Interpretação dos resultados – implica num processo de reflexão contínua sobre o seu comportamento enquanto pesquisador e, finalmente, numa interação dinâmica entre este e seu objeto de estudo;
- 5) Generalização de resultados – função importante da abordagem qualitativa é a de permitir uma quantificação com propósito, desta maneira, poder-se-ia chegar a generalizações mais consubstanciadas.

Como fator determinante para nossa escolha do método, Erickson (1998) afirma que os objetivos essenciais da pesquisa qualitativa são detalhar a condução de eventos e o significado que estes eventos têm para aqueles que participam.

[...] A pesquisa qualitativa em educação é especialmente apropriada quando se deseja: informações detalhadas sobre implementação; identificar nuances do entendimento subjetivo que motiva vários participantes. (ERICKSON, 1998, p.1155)

A validade dos resultados obtidos na pesquisa qualitativa é bastante questionada por possuir características complexas de serem avaliadas. No entanto, há uma gama de autores como Becker (1993), Cohen e Manion (1980), Altheide e Johnson (1994) e Moreira (1990), que abordam o problema da validade dos resultados obtidos por pesquisas qualitativas e determinam, por exemplo, uma série de estratégias que auxiliam na corroboração de seus resultados encontrados.

Por tudo que foi fundamentado, podemos definir nossa pesquisa, quanto à forma de abordagem, como **pesquisa qualitativa**. Tendo a Transposição Didática de Chevallard e a Aprendizagem Significativa de Ausubel como nosso referencial teórico e ferramenta de análise das atividades elaboradas neste trabalho.

4.2 Proposta

Chevallard elabora toda sua teoria a partir de uma tríade, formada pelo saber-aluno-professor. Assim, um dos focos do nosso estudo é a transformação do Saber. Essa transformação deve ser atrelada ao processo de ensino-aprendizagem e, embora tal processo não seja alvo efetivo de nossa investigação, devemos tecer algumas reflexões acerca da aprendizagem como parte fundamental do processo educacional.

Utilizaremos *softwares* que simulam interferências de ondas com um dos objetivos principais de explicarmos seus funcionamentos, a princípio, numa oficina voltada para os professores que atuam na Educação Básica, pois sabemos de modo

informal, que muitos desconhecem a existência de tais ambientes virtuais, com intuito futuro de propor que os professores participantes ou interessados neste trabalho utilizem tais ferramentas em sua sala de aula, para mostrar, através dos simuladores, a formação dos padrões de interferência da luz.

Para trabalharmos com o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, utilizaremos os três primeiros guias experimentais readaptados, descritos no Apêndice C; um texto de apoio, Apêndice A, que descreve de forma sucinta os fenômenos ondulatórios – lembrando que devemos dar ênfase à interferência da luz –, e servirá como organizador prévio. De início, utilizaremos o Apêndice B, que trata das instruções sobre o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder e um questionário, Apêndice D, que trata do perfil do professor, além de conhecer a realidade vivenciada pelo mesmo no ambiente escolar.

Para analisarmos se houve aprendizagem significativa por parte do professor, serão aplicados os questionários do Apêndice D: o Questionário B deverá ser aplicado antes e depois do curso – tal questionário trata dos conhecimentos relativos ao fenômeno da interferência luminosa –; já o Questionário C trata do ponto de vista dos participantes a respeito do Interferômetro Virtual. Temos que considerar também que os guias experimentais utilizados apresentam perguntas acerca do que está sendo observado no aparato durante o decorrer do curso. A análise desse material será feita através dos resultados obtidos, daí uma possível conclusão se o nosso objeto de pesquisa foi ou não sujeito de uma aprendizagem significativa.

Com o intuito de buscarmos novas ferramentas que contribuam para a melhoria e a qualidade do Ensino, apresentaremos aos professores o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder como uma provável estratégia didática para o ensino não só do fenômeno da interferência da luz, mas também como um auxílio didático para uma gama de assuntos, tanto na ondulatória (outros fenômenos como a polarização da luz) como também na introdução da Mecânica Quântica (utilização do fóton), ou seja, tanto fenômenos da Física Clássica como da Física Moderna. Associando a isto a motivação e o interesse dos alunos pelas aulas de Física e o uso de informações e novas tecnologias.

4.2.1 Descrição

Nossa oficina/curso contou com a participação de 7 (sete) professores da Educação Básica. Realizada no Laboratório do Centro de Ciências e Tecnologia da Educação - CECITE, localizado no Centro Educacional de Pesquisas Aplicadas Antônio Gomes de Barros – CEP/CEAGB, bairro Farol, Cidade de Maceió, Estado de Alagoas. Composta por um encontro presencial com duração de 4 horas de curso.


Uma semana antes do encontro presencial será enviado para cada professor, através de *e-mail* (endereço eletrônico), o texto de apoio prévio, Apêndice A, juntamente com o Questionário A, presente no Apêndice D. Tal questionário deverá ser respondido e encaminhado novamente para o endereço eletrônico da professora pesquisadora.

Na primeira parte do encontro, cada participante levará consigo seu *notebook* e um *pendrive*, dispositivo que armazenará o simulador trabalhado no curso. De início, cada participante receberá o Questionário B – Noções Básicas sobre Interferência, apresentado no Apêndice D, para responder. Com o simulador pronto para ser utilizado e com o auxílio de um computador conectado a um *Datashow*, apresentaremos as instruções para uso do *software* Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, Apêndice B, para que os professores se familiarizem com o simulador e aprendam a manuseá-lo, observando todas ou a maioria de suas funcionalidades.

Discutiremos, então, em forma de debate, sobre as funcionalidades do Interferômetro Virtual e as respostas dos professores às questões comentadas do Questionário B.

Num segundo momento da oficina, utilizaremos os três primeiros guias experimentais readaptados, a partir dos guias experimentais do trabalho de Hoffmann (2010) do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, presentes também no Apêndice C:

Quadro 1 – Guia Experimental 1

1. Clique no aplicativo correspondente para executar o programa  Mach-Zehnder.exe ;
2. Com o *Software* em execução, observe todos os componentes do programa na faixa cinza, na parte inferior da tela;
3. Vá para View Point (Ponto de Vista) e modifique o idioma do inglês para o português em Language (idioma) para melhor entendimento;
4. Agora, clique em Ver Feixes para identificar o caminho seguido pelos raios de luz, ilustrado pela animação na propagação de um feixe colimado;
5. Identifique no aparato os divisores de feixes, ou seja, espelhos semi-refletores, justificando sua resposta.

Quadro 2 – Guia Experimental 2

1. Vá para Fonte e escolha a opção Laser;
2. Ainda em Fonte selecione a opção Ligado;
3. Observe o que acontece nos anteparos 1 e 2. Explique o que você vê;
4. Qual fenômeno está envolvido no resultado desse experimento?
5. A luz apresenta qual comportamento?

Quadro 3 – Guia Experimental 3

1. Vá para Fonte e selecione a opção Laser;
2. Em Instrumentos, desmarque removendo do experimento o espelho semi-refletor 2;
3. Volte para Fonte e clique em Ligado para executar a experiência;
4. Tente explicar o resultado observado nos anteparos;
5. Você saberia qual a intensidade da luz em cada um dos anteparos, nos casos com e sem o espelho semi-refletor 2, sabendo apenas que esse feixe de luz *laser* emitido pela fonte tem intensidade I_0 ?
6. Compare os dois experimentos, com e sem o espelho semi-refletor 2. Que conclusões você pode chegar a respeito dos fenômenos?

Trabalharemos um a um, passo a passo, cada guia, respondendo às perguntas neles encontradas. Cada professor receberá uma folha, nela colocará o guia que está sendo apresentado, e o item da pergunta que irá responder daquele respectivo guia. Ao final, vamos recolher as folhas com as respostas, mas antes vamos debater cada uma delas.

Ao final do encontro serão entregues os Questionários B, novamente, e C, presentes no Apêndice D, para avaliarmos, respectivamente, o comparativo do pré-teste e pós-teste, além de sabermos a opinião e o ponto de vista dos professores quanto ao simulador, suas funcionalidades e aplicabilidades em sala de aula. Para encerramos nossa oficina, vamos sugerir que dois grupos de professores elaborem seus próprios guias experimentais sobre o *software* trabalhado.

Como sugestão, o professor poderá solicitar que seus alunos elaborem também seu próprio guia experimental utilizando o simulador. Isso pode ajudar a avaliar se material, principalmente o *software* é potencialmente significativo.

No entanto, nossa oficina realizada no CECITE contou com um número muito reduzido de participantes. Assim, optamos por realizar outras oficinas com a pretensão de reunir um número maior de pessoas, atingindo-se 15 professores da Educação Básica. Utilizamos para isso a plataforma denominada Moodle.

Através do Moodle, convidamos e logamos os professores interessados (mais de 30 *logins* foram feitos, mas nem todos acessaram a plataforma). Postamos no ambiente 5 vídeo-aulas divididas da seguinte maneira:

- Oficina 1 – Apresentação da plataforma PhET
- Oficina 2 – Apresentação da simulação Interferência de Ondas
- Oficina 3 – Apresentação do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder

Colocamos um link denominado “Perfil do Professor”, para que os mesmos tivessem acesso ao Questionário A, e outro link, denominado “Ponto de Vista do Professor sobre os Simuladores”, para que os mesmos respondessem ao Questionário C, ambos apresentados no Apêndice D deste trabalho. Além disso, propormos uma sequência de atividades com base nas simulações e no assunto discutido no experimento, trabalhando suas funcionalidades e aplicabilidades conceituais.

5 RESULTADOS

Para verificarmos se nosso material de estudo e proposta didática é, respectivamente, potencialmente significativo e possível de realização, adotamos como métodos de avaliação questões-problemas para resolução ao fim de cada vídeo-aula (presente no nosso produto educacional), a respeito do conteúdo trabalhado. Esses exercícios servem como proposta didática para que o professor os tenha como base, numa melhor perspectiva de metodologia para o ensino-aprendizagem de seus alunos em sala de aula. Além disso, propomos a criação de um guia experimental por um grupo de professores participantes (Anexo) quanto ao uso do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, referente à pesquisa presencial.

Abaixo, apresentaremos os dados obtidos no questionário sobre o perfil dos professores, além de uma análise, em linhas gerais, do questionário B, aplicado como um pré e pós-teste na oficina presencial (sugerido também como uma das atividades propostas no produto educacional); comentaremos sobre o ponto de vista dos participantes a respeito dos *softwares* utilizados durante o curso e colocaremos no Apêndice deste trabalho suas respostas para os guias experimentais.

5.1 Análise do Questionário A – Perfil dos Professores Participantes

Faremos aqui um breve comentário, de forma mais geral, sem tanta especificidade, das respostas obtidas no questionário aplicado aos 15 (quinze) professores participantes com o objetivo de conhecermos um pouco de sua rotina no ambiente educacional e o perfil de cada um.

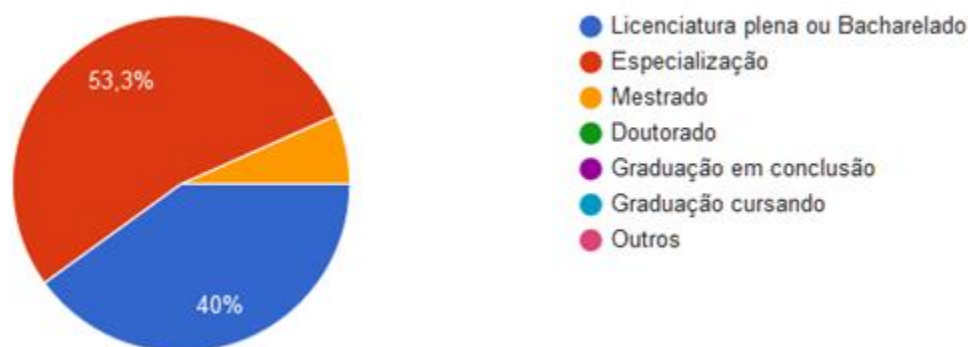
Como conseguimos atingir um número mais significativo de professores participantes nas oficinas *online*, optamos por acrescentar gráficos que facilitem na interpretação e leitura dos resultados, sabendo, mesmo assim, que nossa pesquisa tem foco qualitativo.

O questionário contempla 10 (dez) questões que identificaremos da seguinte maneira: Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9 e Q10.

Para **Q1**, a resposta era opcional, pois se tratava da identificação, ou seja, perguntava o nome do professor participante. Assim, dos 15 participantes, 14 optaram por se identificar colocando seus nomes completos.

Q2. Marque seu nível de instrução.

Gráfico 1 – Quanto ao nível de instrução dos professores



Fonte: Autora, 2017.

Podemos observar que a maioria dos participantes já possui algum tipo de especialização.

Q3. Marque o(s) curso(s) de graduação já concluído(s) ou que irá concluir.

Gráfico 2 – Quanto ao curso de sua formação

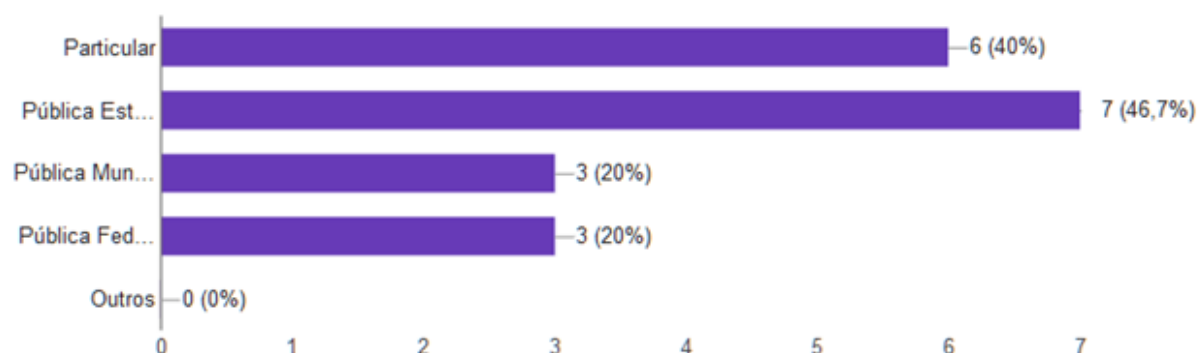


Fonte: Autora, 2017.

Segundo as respostas obtidas, vimos que a grande maioria, exatamente 11 professores concluíram ou vão concluir o curso de Física, mas temos entrevistados de outras áreas, que não os impedem de participarem da pesquisa e opinarem, quanto aos *softwares* e suas aplicabilidades.

Q4. Marque que tipo de instituição de ensino você leciona atualmente.

Gráfico 3 – Quanto às instituições que os professores trabalham

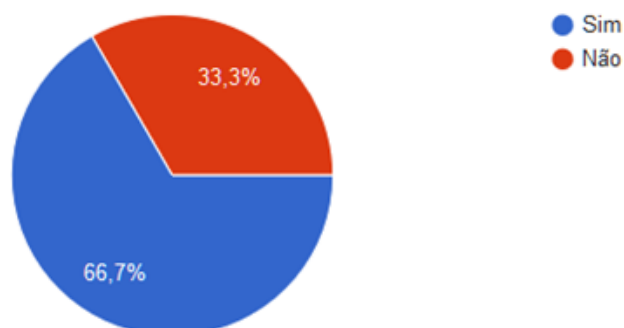


Fonte: Autora, 2017.

A diferença é mínima para os que lecionam em escolas públicas estaduais e particulares, como mostrada no gráfico acima, sendo a maioria dos entrevistados.

Q5. Você tem horas semanais para planejamento de aulas?

Gráfico 4 – Quanto ao tempo disponível para planejamento de aulas

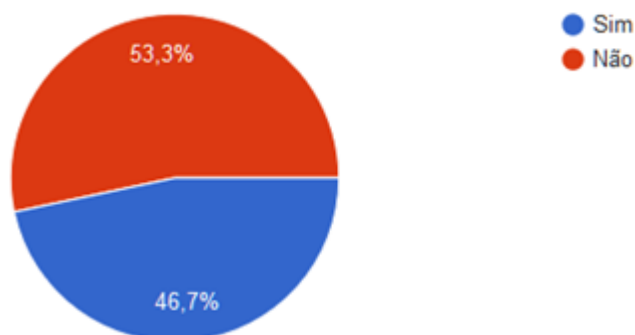


Fonte: Autora, 2017.

Observando o gráfico percebemos que a maioria tem horas livres para planejar suas aulas.

Q6. A(s) escola(s) em que você leciona possui(em) laboratório de ciências em uso?

Gráfico 5 – Quanto ao laboratório de ciências na escola



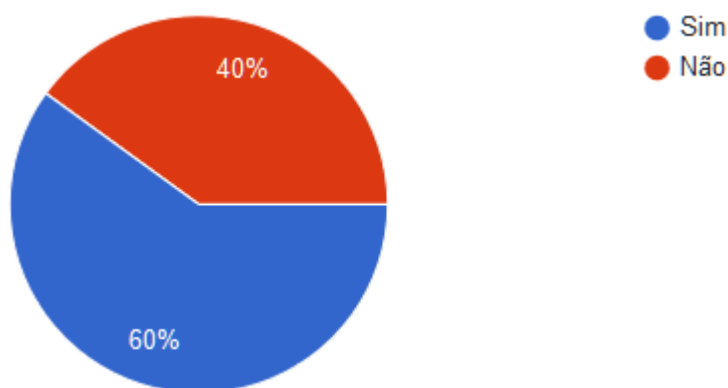
Fonte: Autora, 2017.

Observe no gráfico acima que a diferença entre os que responderam sim e os que responderam não é de 6,6%. Mesmo assim, observamos que existe uma quantidade significativa dos que participaram que não possuem laboratórios de ciências em uso nas escolas que lecionam.

Perguntamos também na **Q7** se havia laboratório de informática:

Q7. A(s) escola(s) onde você leciona possui laboratório de informática?

Gráfico 6 – Quanto ao laboratório de informática nas escolas



Fonte: Autora, 2017.

Um ponto bem significativo para nossa pesquisa saber que a maioria dos professores possuem laboratório de informática a sua disposição na escola que lecionam.

Q8. Você tem computador com acesso à internet em casa?

Gráfico 7 – Quanto ao acesso à internet através de um computador

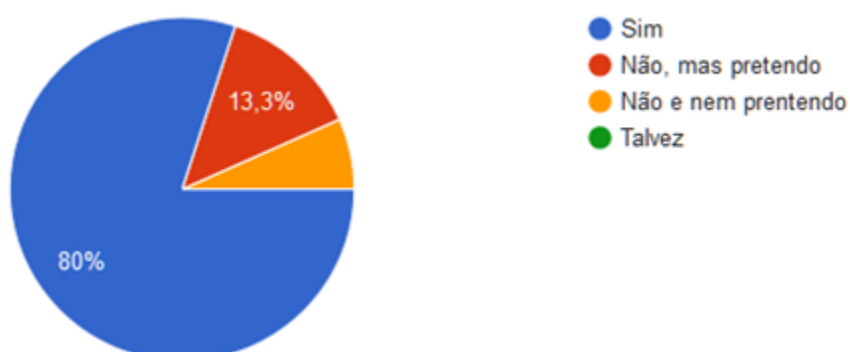


Fonte: Autora, 2017.

Todos afirmaram que sim. Foi importante sabermos disso para facilitar a troca e busca de informações durante a pesquisa.

Q9. Você já trabalhou ou pretende trabalhar com seus alunos fenômenos ondulatórios?

Gráfico 8 – Quanto aos fenômenos ondulatórios



Fonte: Autora, 2017.

Q10. Caso a resposta da questão anterior não foi Sim, você poderia nos dizer qual(is) o(s) motivo(s)?

Algumas das respostas foram apresentadas pelos professores participantes da seguinte maneira:

“Pretendo trabalhar (para o próximo ano).”

“Falta de tempo.”

“É tema muito importante da Física e o mesmo, na minha opinião, não pode ser deixado fora dos conteúdos.”

“Está na ementa da disciplina Física (a qual leciono) no curso em que estou lotado.”

“Sou professor de química e ensino no segundo ano.”

“Devido à importância do assunto diante do contexto tecnológico atual.”

Observa-se que nenhum professor quis dizer que o fenômeno da interferência luminosa é irrelevante, assim como os demais conteúdos deixados de lado, dentro de uma carga horária absurdamente e minimamente reduzida para o estudo de toda essa Física presente no vasto currículo para alunos da Educação Básica no Sistema Público de Ensino; o mesmo tem um cronograma e é exigido seu cumprimento dentro de uma grade curricular e, muitas vezes, falta tempo para isso. Muitos livros didáticos seguidos pelo professor como ferramenta de ensino não abordam tal assunto e, quando têm, trazem o mesmo como um mero coadjuvante em um apêndice ou anexo do capítulo.

5.2 Questionário B – Noções Básicas sobre Interferência

Como a amostra foi insuficiente, pelo quantitativo de participantes na oficina presencial, não coube aqui fazermos uma análise qualitativa criteriosa das respostas, mas apenas um breve comentário. Optamos, por tanto, em colocar tal questionário com as poucas respostas obtidas no Apêndice E desta pesquisa.

Observamos o interesse dos professores em participar e, principalmente, conhecer e utilizar o Interferômetro de Mach-Zehnder do tipo bancada virtual.

Durante a aplicação do questionário referente aos conceitos básicos da interferência luminosa aplicado como pré-teste e pós-teste, constatamos que os professores tiveram raciocínios e respostas semelhantes. No primeiro momento, apenas um professor não respondeu às questões. A hipótese é de que este conteúdo não faça parte de sua rotina de aulas. Muitas vezes, a interferência da luz é um conteúdo deixado de lado e, com essa ausência, é esquecido. Daí a importância do texto de apoio prévio, com ele os professores tiveram a oportunidade

de lembrar conceitos. Todas as respostas do primeiro momento foram tidas como satisfatórias, não tivemos nenhum absurdo ou fuga do tema abordado nas questões.

Quanto às respostas do segundo momento, constatamos que alguns professores confundiram conceitos atrelados à Física Clássica (nosso foco e interesse) com a Física Moderna, já que começamos nossa oficina mostrando as funcionalidades e aplicabilidades do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder como um todo, além da sua utilização na contagem de fótons emitidos pela fonte. Ao invés de utilizarem a palavra “onda”, utilizou-se “fóton”. Isso nos permite expor algumas sugestões para o ocorrido, como: a falta de atenção do professor ao responder à pergunta; o método de apresentar o interferômetro não foi eficiente nesse ponto. Deve-se focar no experimento que se quer realizar com o interferômetro para que não haja confusão quanto aos conceitos trabalhados durante a realização do experimento. O professor que havia deixado sem respostas as questões no primeiro momento, no segundo, respondeu todas as questões de modo satisfatório. E muitos repetiram o que já haviam colocado no primeiro momento.

Podemos julgar de suma importância a questão **Q2**, ainda do questionário B. Ela pergunta sobre a diferença da interferência construtiva e destrutiva e uma das respostas que obtidas foi: *“A interferência construtiva ocorre quando as ondas estão em fase. A onda resultante é a ‘soma’ dos efeitos individuais. A interferência destrutiva ocorre quando as ondas estão em oposição de fase. A onda resultante é a ‘diferença’ dos efeitos individuais.*

Contudo, podemos verificar a importância dos materiais instrucionais e textos como organizadores prévios e suas potencialidades para uma aprendizagem significativa, pois segundo Moreira (2006) eles buscam na estrutura cognitiva do aprendiz significados que existem, mas que não estão sendo usados há algum tempo no contexto da matéria de ensino.

5.3 Guias Experimentais com Respostas

Podemos verificar no Apêndice F as respostas obtidas dos guias experimentais utilizados com os professores participantes da oficina presencial sobre o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder.

Sabendo que os participantes manusearam o *software* contendo o Interferômetro, as respostas obtidas nos roteiros seguidos foram, em sua maioria,

satisfatórias. Por exemplo, no nosso experimento trabalhamos sempre com a Fonte de luz *Laser* selecionada e perguntamos qual o comportamento apresentado pela luz para o fenômeno visto nos anteparos. Grande parte respondeu que a luz apresentava um comportamento de onda, respondendo corretamente.

Observamos também que, em algumas questões específicas, os participantes deixaram sem respostas. Supomos então que estes não se lembravam do assunto e não utilizaram o material de apoio, que, segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, servem como organizadores prévios que podem ser usados para reativar significados esquecidos e que não estão sendo usados há algum tempo no contexto da matéria de ensino.

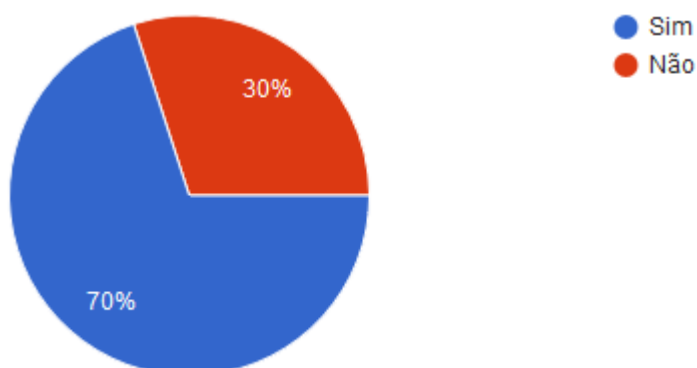
Nosso intuito não é avaliar o conhecimento de cada professor participante, mas sim as potencialidades dos materiais trabalhados nas oficinas (textos, vídeo-aulas). Portanto, nosso objetivo aqui é permitir que, ao final deste curso, o professor produza seu próprio guia experimental acerca do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder. E obtemos êxito, pois, divididos em dois grupos, os participantes produziram seus roteiros envolvendo o simulador IVMZ, presentes no Anexo deste trabalho.

Concluimos que as construções dos guias experimentais pelos participantes possibilitaram novas informações em seus subsunçores, segundo a Teoria da Aprendizagem de Ausubel, além de propiciar a eles conhecimento no assunto, entusiasmo e uma nova metodologia como proposta de ensino.

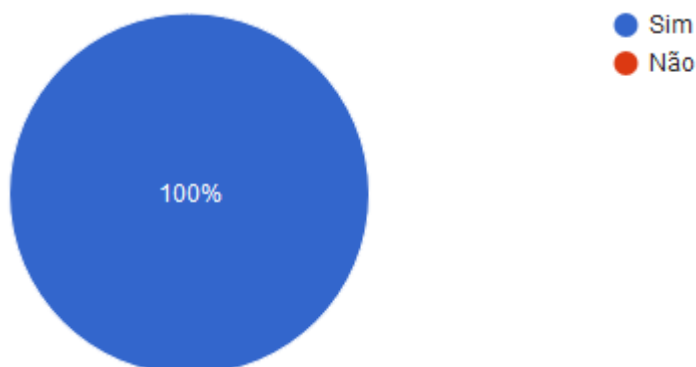
5.4 Análise do Questionário C – Ponto de Vista do Professor

O questionário sobre o ponto de vista do professor ao conhecer e manusear os simuladores trabalhados nas oficinas presentes na plataforma PhET e o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder apresenta 7 (sete) questões, sendo: 6 (seis) de múltipla escolha entre as opções Sim e Não; e, 1 (uma) para que o participante exponha sua opinião, crítica ou apenas deixe um comentário acerca dos simuladores, oficinas e sequência de atividades, sendo opcional responder tal questão. Dos 15 (quinze) participantes, apenas 10 (dez) responderam o questionário abaixo apresentado.

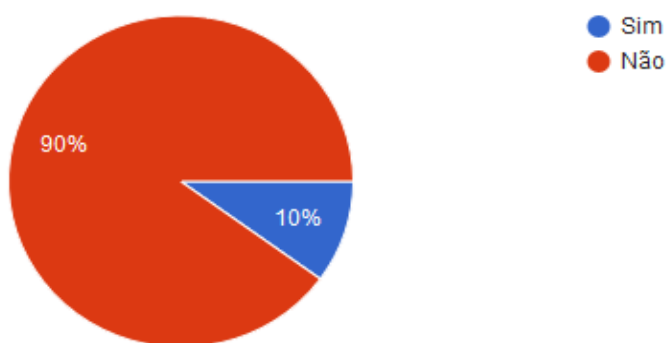
Da mesma forma que identificamos as questões dos questionários anteriores, faremos aqui; logo, temos: Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 e Q7.

Q1. Você utilizaria estas simulações com seus alunos?**Gráfico 9 – Quanto à utilização dos simuladores com os alunos**

Fonte: Autora, 2017.

Q2. Você considera tais ferramentas didáticas?**Gráfico 10 – Quanto às simulações serem didáticas**

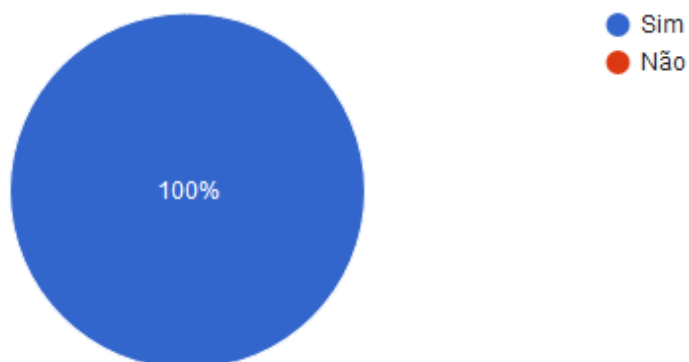
Fonte: Autora, 2017.

Q3. Sentiu dificuldades para manusear os Softwares?**Gráfico 11 – Quanto às dificuldades de manuseio**

Fonte: Autora, 2017.

Q4. Gostou de conhecer a plataforma PhET, o Interferômetro e suas aplicabilidades na ondulatória?

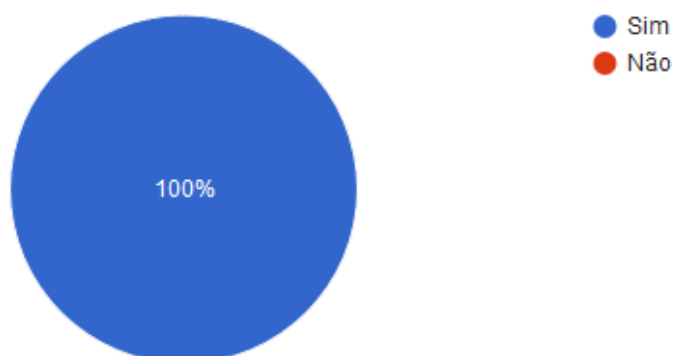
Gráfico 12 – Quanto à satisfação de conhecer os aplicativos



Fonte: Autora, 2017.

Q5. Você acha motivador o uso dessa ferramenta como contribuição para o interesse e a aprendizagem do aluno na disciplina de Física?

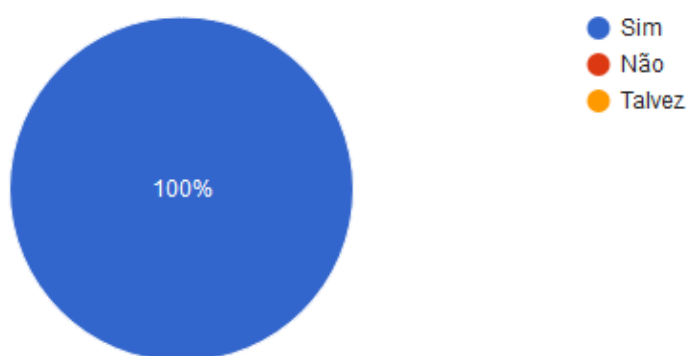
Gráfico 13 – Quanto à contribuição para o ensino de Física



Fonte: Autora, 2017.

Q6. Você vê a possibilidade de inserção destas ferramentas como metodologia para o ensino/aprendizagem em sala de aula?

Gráfico 14 – Quanto à possibilidade de uma nova metodologia de ensino



Fonte: Autora, 2017.

Q7. Comente, dê sugestões. Sua opinião é importante para a contribuição desta pesquisa (opcional).

Algumas respostas obtidas para a questão:

“A utilização do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder e dos Softwares da plataforma PhET, permite ao professor explorar todos os detalhes que estão presentes nos conteúdos, de forma agradável e didática, promovendo um real entendimento dos fenômenos. Acredito que essas ferramentas didáticas promovem a ligação entre a teoria e a prática, ainda que de forma simulada.”

“O Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder é uma ótima ferramenta para utilizarmos em nossas aulas, pois além de ser motivador, o mesmo é de fácil manuseio e bem ilustrativo.”

“Na química os simuladores do PHET tem grande aplicação, em especial no "mundo" microscópico da mesma.”

“É um recurso facilitador do ensino.”

“Junto com a ferramenta, deve-se preparar um roteiro de como usá-la, num laboratório de informática, por exemplo, com os alunos.”

“É essencial à demonstração dos experimentos nas aulas de física e é justamente o que fascina os alunos, quando observam qualquer fenômeno. Cabe ao professor apresentar aos alunos, mesmo que seja em power point, se caso a escola não possuir laboratório de ciências ou pedir que eles façam em casa, como atividade extra classe, enfim.”

Dos 15 (quinze) participantes das oficinas, apenas 10 (dez) responderam o questionário C. Mesmo assim, podemos afirmar que nossos resultados, quanto ao ponto de vista desses professores sobre a utilização dos simuladores foram satisfatórios, e o que esperávamos obter, pois proporcionamos o uso do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder e do simulador Interferência de Ondas do PhET como possibilidades para o estudo da interferência luminosa; além de possibilitar a análise dos mesmos como ferramentas que proporcionem uma nova metodologia de ensino e facilitem a aprendizagem, inserindo-lhes em sala de aula,

segundo a opinião dos professores. Todos afirmaram que poderiam utilizá-los com seus alunos como ferramentas didáticas e como instrumentos motivadores para as aulas de Física.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos questionários aplicados e as construções dos guias experimentais, observamos que os professores obtiveram novas informações em seus subsunçores, segundo a Teoria da Aprendizagem de Ausubel, e o que traz a literatura de Moreira (2006), além de conferirmos a eles conhecimento no assunto, entusiasmo e uma nova metodologia como proposta de ensino-aprendizagem.

Com as respostas obtidas no questionário acerca do ponto de vista dos professores, quanto ao uso das simulações e as oficinas ministradas, podemos afirmar que a utilização das mesmas proporcionara um ganho significativo no estudo da interferência luminosa; vimos que há possibilidade da inserção destas ferramentas como metodologia de ensino.

Contudo, acreditamos que o estudo realizado foi de suma importância como contribuição na formação continuada dos professores participantes e será ainda mais importante para aqueles que fizerem uso em suas aulas. Esperamos que a utilização do nosso material instrucional e nossas sequências didáticas, presentes no produto educacional deste trabalho como pontos de partida para futuras adaptações, possam contribuir ainda mais para o Ensino de Física. Logo, conseguimos atender os objetivos iniciais expostos na introdução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

A BRIEF INTRODUCTION TO PHET. Disponível em: <<https://youtu.be/gKI-9Ksvgg4>>. Acesso em: 24 fev. 2017.

ADAMS, W. K. et al. **A STUDY OF EDUCATIONAL SIMULATIONS PART I - ENGAGEMENT AND LEARNING.** Journal of Interactive Learning Research (Association for the Advancement of Computing in Education – AACE), Chesapeake/VA, 19(3), p. 397-419, 2008.

ALTHEIDE, D.; JONHSON, J. M. **CRITERIA FOR ASSESSING INTERPRETATIVE VALIDITY IN QUALITATIVE RESEARCH.** In: DEZIN, N. K. & LINCOLN, Y. S. (Ed.). Handbook of qualitative research. Sage publications, international educational and professional publisher. London, New Delhi: Thousand Oaks, 1994.

ALVES-FILHO, J. P. **ATIVIDADES EXPERIMENTAIS: DO MÉTODO À PRÁTICA CONSTRUTIVISTA.** 2000. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis.

ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. **UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE ESTUDOS RELATIVOS A TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE FÍSICA.** Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 4, n. 3, 2004.

BARROS, Marina Valentim. **UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE MECÂNICA QUÂNTICA NAS LICENCIATURAS: A NOTAÇÃO DE DIRAC.** Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

BARTHEM, R. **TEMAS ATUAIS DE FÍSICA: A LUZ.** Livraria da Física, São Paulo, 2005.

BATISTA FILHO, Agdo R.; GOMES, Edilson B.; KALHIL, Josefina D. B.; CARVALHO, Luís A. M. de; CAVALHEIRO, Juciane dos S. **TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS: FACETAS DE UMA ESCOLA DO CAMPO DE PARINTINS/AM.** Revista Amazônica de Ensino de Ciências, v. 5, n. 08, 2012.

BECKER, H. S. **MÉTODOS DE PESQUISA EM CIÊNCIAS SOCIAIS.** São Paulo: Hucitec, 1993.

BROCKINGTON, Guilherme. **A REALIDADE ESCONDIDA: A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA PARA ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO.** 2005. Dissertação de mestrado. Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. **SERÃO AS REGRAS DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA APLICÁVEIS AOS CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA.** Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

COELHO, Rafael Otto. **O USO DA INFORMÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA DE NÍVEL MÉDIO**. 2002. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

COHEN, L.; MANION, I. **RESEARCH METHODS AN EDUCATION**. London: Croom Helm, 1980.

DOMINGUINI, Lucas. **A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA COMO INTERMEDIADORA DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO E DO CONHECIMENTO ESCOLAR**. Revista Eletrônica de Ciências da Educação. Campo Largo, v. 7, n. 2, Nov. 2008.

ERICKSON, F. **QUALITATIVE RESEARCH METHODS FOR SCIENCE EDUCATION**. In: FRASER, B.J. E TOBIN, K.G. (Orgs.), International Handbook of Science Education, Part One. Kluwer Academic Publishers, 1998.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **FÍSICA 2: INTERAÇÃO E TECNOLOGIA**, v. 2, 1 ed. São Paulo: Leya, 2013.

GODOY, Arilda S. **INTRODUÇÃO À PESQUISA QUALITATIVA E SUAS POSSIBILIDADES**. Revista de Administração de Empresas, v. 35, n. 2, 1995a.

GRAF: Grupo de Reelaboração do Ensino da Física. **FÍSICA 2: FÍSICA TÉRMICA; ÓPTICA**. 5 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

GÜNTHER, H. **PESQUISA QUALITATIVA VERSUS PESQUISA QUANTITATIVA: ESTA É A QUESTÃO?** Psicologia: Teoria e Pesquisa, v. 22, n. 2, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **FÍSICA 4**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HECKLER, V. **USO DE SIMULADORES E IMAGENS COMO FERRAMENTAS AUXILIARES NO ENSINO/APRENDIZAGEM DE ELETROMAGNETISMO**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HOFFMANN, S. K. **ÓPTICA FÍSICA COM O INTERFERÔMETRO VIRTUAL DE MACH-ZEHNDER**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

K. P. ZETIE, S. F. ADAMS e R. M. TOCKNELL. **“HOW DOES A MACH-ZEHNDER INTERFEROMETER WORK?”**. Physics Education 35, p. 46, 2000. Disponível em: <https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall06/cos576/papers/zetie_et_al_mac_h_zehnder00.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2015.

INTERFEROMETER. Disponível em: <http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/archiv/inhalt_materialien/interferometer/index.html>. Acesso em: 20 jan. 2015.

JAPIASSÚ, Daniel V. T.; PIMENTEL, Kevia H. F. **UMA ABORDAGEM CONCEITUAL SOBRE A LEI DE GAUSS SEGUNDO A TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DE CHEVALLARD**. In: Encontro de Ensino de Ciências e Matemática. Centro de Educação. Universidade Federal de Alagoas, 2014.

LEITE, Miriam Soares. **CONTRIBUIÇÕES DE BASIL BERNSTEIN E YVES CHEVALLARD PARA A DISCUSSÃO DO CONHECIMENTO**. 2004. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Educação da PUC-RIO.

MACÊDO, J. A. et al. **SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS COMO FERRAMENTAS PARA O ENSINO DE CONCEITOS BÁSICOS DE ELETRICIDADE**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.29, n. Especial 1: p. 562-613, set. 2012.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. **POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES DAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO ENSINO DA FÍSICA**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, n. 2, Junho, 2002.

MIRANDA, M. S. et al. **OBJETOS DE APRENDIZAGEM NO ENSINO DE FÍSICA: USANDO SIMULAÇÕES DO PhET**. Física na Escola, v. 11, n. 1, 2010.

MOREIRA, M.A. **A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E SUA IMPLEMENTAÇÃO EM SALA DE AULA**. Brasília: Editora da UnB, 2006.

MOREIRA, M. A. **PESQUISA EM ENSINO: O VÊ EPISTEMOLÓGICO DE GOWIN**. EPU, São Paulo, 1990.

MULLER, R.; WIESNER, H. **INTERFEROMETRO QUANTUM ERASER**. Disponível em: <http://www.didaktik.physik.unimuenchen.de/archiv/inhalt_materialien/interferometer/index.html>. Acesso em: 27 maio 2015.

_____ American Journal of Physics, n. 70, 2002.

OFUGI RODRIGUES, C. **INSERÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO: UMA NOVA PROPOSTA**. 2001. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis.

OSTERMANN, F.; PRADO, S. D.; RICCI, T. R. **INTERFERÔMETRO VIRTUAL DE MACH-ZEHNDER**. 2005. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/~fernanda>.

OSTERMANN, F.; PRADO, S. D.; RICCI, T. R. **O TRATAMENTO CLÁSSICO DO INTERFEROMETRO 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.

_____ **O DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA O ENSINO DE FUNDAMENTOS DE FÍSICA QUÂNTICA**. A Física na escola, São Paulo, v. 7 n. 1, 2006.

OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. **INTERPRETAÇÕES DA MECÂNICA QUÂNTICA EM UM INTERFERÔMETRO VIRTUAL DE MACH-ZEHNDER**. Revista Brasileira de ensino de Física, v. 27, n. 2, 2005.

PESSOA JR., O. **INTERFEROMETRIA, INTERPRETAÇÃO E INTUIÇÃO: UMA INTRODUÇÃO CONCEITUAL À FÍSICA QUÂNTICA**. Revista de Ensino de Física. São Paulo, v. 19, n. 1, 1997.

PESSOA JR., O. **CONCEITOS DE FÍSICA QUÂNTICA**. São Paulo: Livraria da física, v. 1, 2003.

PHET – INTERACTIVE SIMULATIONS. Disponível em:
<https://phet.colorado.edu/pt_BR> Acesso em: 01 jun. 2017.

PINHO ALVES, J. F. **REGRAS DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA APLICADAS AO LABORATÓRIO DIDÁTICO**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, 17(2), 2000.

RAMOS, Aguiar, C. **A IMPORTÂNCIA DO USO DO LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS PARA UMA MELHOR COMPREENSÃO DE CONTEÚDOS NO ENSINO DA FÍSICA**. Cadernos PDE, vol. II. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, 2014.

ROBILOTTA, Manoel Roberto. **O CINZA, O BRANCO E O PRETO: DA RELEVÂNCIA DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA**. Caderno catarinense de Ensino de Física, v. 5, n. 7, 1988.

SABBATINI, Renato M. E., **AMBIENTE DE ENSINO E APRENDIZAGEM VIA INTERNET A PLATAFORMA MOODLE**. Instituto EduMed, 2007.

SFM e-Learning. Disponível em: <<http://www.sfm.pt/moodle/plataforma-moodle/>>. Acesso em: 03 fev. 2017.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, G. **FÍSICA PARA CIENTISTA E ENGENHEIROS, V. 1: MECÂNICA, OSCILAÇÕES E ONDAS; TERMODINÂMICA**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

VILLAS BÔAS, N.; HELOU DOCA, R.; BISCUOLA, G. J. **FÍSICA 2**. 1ed, São Paulo: Saraiva, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Texto de apoio prévio

Transposição de conceitos acerca de fenômenos ondulatórios, com ênfase na interferência.

Como nosso produto é voltado para os professores, não necessariamente, consideramos que todos que o utilizem tenham formação em Física, portanto, optamos em conferir aqui o título de transposição de conceitos acerca do tema trabalhado, com uma proposta inicial, que o professor utilize o texto abaixo para se inteirar do assunto em questão.

Natureza e Propagação da Luz

Os nossos olhos podem apreciar lindas cores, como o azul do céu, o verde das folhas e até mesmo as cores do arco-íris. O ramo da física que trata do comportamento da luz e de outras ondas é a óptica. Os princípios da óptica desempenham papel importante em muitas inovações modernas, tais como o *laser*, a fibra ótica, os hologramas, e ainda novas técnicas para obter imagens médicas.

Até a época de Isaac Newton (1642 – 1727), muitos cientistas acreditavam que a luz fosse constituída por pequenas partículas, chamadas corpúsculos, emitidas pelas fontes de luz. Em torno de 1665, surgiram as primeiras evidências das propriedades ondulatórias da luz.

James Maxwell, em 1873, fez previsões da existência das ondas eletromagnéticas e ainda estabeleceu a velocidade de propagação dessas ondas. Heinrich Hertz, em 1887, mostrou experimentalmente de maneira irrefutável, que a luz é uma onda eletromagnética.

Mas, a natureza ondulatória da luz não é suficiente para explicar tudo, pois efeitos associados com a emissão e a absorção da luz revelam seu caráter corpuscular, onde sua energia transportada é concentrada em pacotes discretos conhecidos como fótons ou quanta. Esses aspectos ‘dual’ da luz foram conciliados a partir de 1930, com o desenvolvimento da eletrodinâmica, teoria que explica de forma simultânea esses dois aspectos.

A propagação da luz pode ser descrita melhor utilizando um modelo ondulatório.

Uma fonte de luz que nos últimos 50 anos vêm se tornando cada vez mais importante é o *laser*; em quase todas as fontes luminosas, a luz é emitida por átomos diferentes no interior da fonte, mas no caso do *laser*, os átomos no interior da fonte são induzidos a emitir luz de modo organizado e coerente. O feixe do *laser* é monocromático (possui frequência única) diferentemente de um feixe produzido por qualquer outra fonte. O *laser* é utilizado por médicos para a realização de cirurgias, na reprodução do som de um CD, na indústria para cortar e fundir materiais, como o aço, dentre muitas outras aplicações.

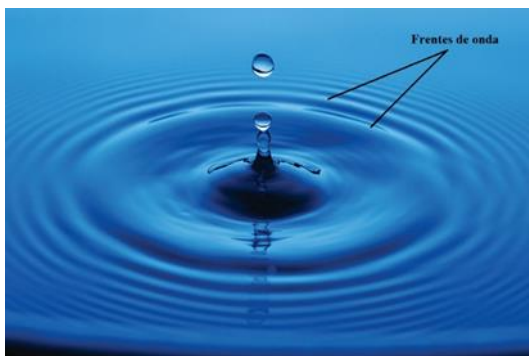
No século XIX, Jean Foucault na França e Albert A. Michelson nos Estados Unidos realizaram uma experiência para medir a velocidade de propagação da luz. De acordo com as medidas realizadas até 1983, o valor da velocidade da luz era $c = 2,99792458 \times 10^8$ m/s. Hoje, sabemos que a luz se propaga no vácuo com uma velocidade aproximada de 3×10^8 m/s, tendo uma frequência característica de 10^{14} Hz e comprimentos de onda (distância entre duas cristas consecutivas) de décimos de micrometro.

Onda, Raio e Frente de Onda

Usamos a frente de onda para descrever a propagação de uma onda. Podemos definir a frente de onda como o lugar geométrico de todos os pontos adjacentes que possuem a mesma fase de vibração de uma grandeza física associada com a onda.

A fim de visualizarmos uma frente de onda, consideremos a situação de uma pedra caindo em um lago de águas calmas, como mostrado na figura. Observamos círculos que se expandem a partir do centro formando as cristas das ondas, assim como os círculos formados nos vales entre as cristas.

Figura 1- Frentes de onda em um lago.

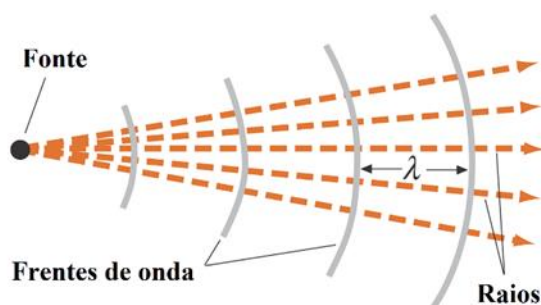


Fonte: TIPLER, v.2, 2006

No movimento ondulatório desenham-se apenas partes das frentes de onda, escolhendo-se frentes de onda consecutiva que possuem a mesma fase, a distância entre ela é igual a um comprimento de onda, λ . Para ondas eletromagnéticas devem-se indicar somente cristas para quais, o campo magnético e o campo elétrico atingem seus valores máximos.

Para descrever a direção de propagação da luz, representa-se a onda de luz por meio de um raio em vez de se usar uma frente de onda, como mostrado na figura 2. Na descrição corpuscular da luz, os raios representam as trajetórias das partículas. No comportamento ondulatório, um raio é uma linha imaginária ao longo da direção de propagação da onda. O ramo que trata especificamente das propriedades ondulatórias da luz é a óptica ondulatória.

Figura 2 – ondas de luz por meio de raios.



Fonte: TIPLER, v.2, 2006

Fenômenos Ondulatórios

Quando a luz se difrata¹⁵ ou se polariza¹⁶, ela apresenta um comportamento característico de onda. Pelo fato das ondas sonoras apresentarem comportamento ondulatório mais evidente, a título de comparação, elas serão usadas para que possamos exemplificar as principais características das ondas e assim compreendermos e associarmos aos processos luminosos.

Podemos perceber as ondas sonoras, ou seja, ouvir o som produzido em determinado ambiente, mesmo que nos encontremos em outro. Contornar os obstáculos é interpretado como um desvio efetuado por essas ondas, denominado difração.

Do mesmo modo que as ondas eletromagnéticas, as ondas sonoras também se propagam de modo diferenciado, dependendo do meio. As mudanças de direção das ondas em função do meio no qual se propaga é denominada refração. O eco, um fenômeno que podemos observar quando uma onda sonora se propaga em uma região em que existem barreiras, como prédios ou montanhas, é interpretado como reflexão das ondas. Neste caso a onda ao encontrar a barreira, retorna do mesmo modo que uma bola ricocheteia ao bater em uma parede.

As ondas também podem se superpor, e como resultado podemos ter uma onda intensa ou fraca, a depender de determinadas condições. Assim, em shows musicais, é possível identificarmos regiões onde o som é mais intenso e outras onde ele é praticamente inaudível. Este fenômeno é denominado de interferência.

Falaremos de forma mais sucinta sobre esses fenômenos ondulatórios, dando ênfase à interferência da luz.

Reflexão

¹⁵ Fenômeno característico do movimento ondulatório e que ocorre quando a luz encontra um obstáculo, desvia-se do movimento em linha reta e entra na região de sombra. Esta divergência é chamada de **difração**. Physics For Scientists and Engineer, 6e, p.1178, Serway and Jewett

¹⁶ Quando a luz emitida por uma lâmpada comum, os campos elétricos que constituem a onda eletromagnética apontam em todas as direções sempre perpendiculares à direção de propagação. No entanto, é possível “polarizar” esta onda colocando no seu percurso filtros que permitem que o campo se propague apenas em uma determinada direção. Nesta situação diremos que a luz estará polarizada. <http://www.seara.ufc.br/tintim/fisica/polarizacao/polarizacao4.htm>

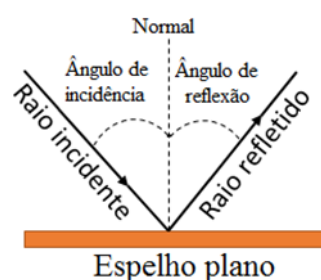
Quase todos os objetos ao nosso redor tornam-se visíveis porque eles refletem a luz. Para o estudo da reflexão da luz utilizaremos raios luminosos que incidem em superfícies lisas como vidros, plásticos ou metais polidos.

A reflexão é o fenômeno em que um raio de luz incide sobre uma superfície e volta ao meio de origem; o meio deve ser entendido como a região do espaço na qual a luz se propaga, podendo haver ou não matéria.

Quanto às leis da reflexão:

- O raio incidente, o raio refletido e a reta normal à superfície estão sobre o mesmo plano;
- O ângulo de incidência, θ_i entre o raio incidente e uma reta N (chamada de reta normal) perpendicular à superfície, é igual ao ângulo de reflexão, θ_r entre o raio refletido e a reta N. Como mostrado na figura 3:

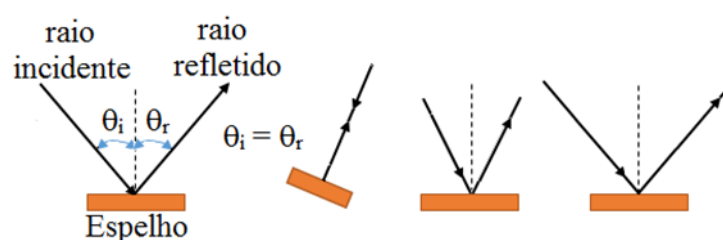
Figura 3 – Leis da reflexão



Fonte: autora, 2017

Com a variação do ângulo de incidência θ_i , o ângulo de reflexão θ_r varia da mesma maneira, mantendo a relação de igualdade $\theta_i = \theta_r$. Na figura 4, mostramos diversas maneiras de como a reflexão pode ocorrer.

Figura 4 – Reflexão da luz em função do ângulo de incidência.



Fonte: autora, 2017

Refração

Quando a luz atinge uma superfície lisa transparente, separando dois meios como ar e o vidro ou água e o vidro ela sofre refração. Observamos que a luz sofre uma mudança de percurso aproximando-se ou afastando-se da linha normal à superfície. Sofre refração. O fenômeno da mudança de propagação pela luz, ao passar de um meio para outro, denominamos de refração.

A figura 5 nos mostra o que vemos quando observamos um objeto colocado dentro de um copo com água. A impressão que temos é que o lápis parece estar “quebrado”. Isto acontece porque há um acentuado desvio entre a parte da imagem do objeto dentro da água e da parte que permanece fora. A direção do raio de luz, que traz a imagem do lápis até nossos olhos sofre um desvio que nossa visão e nosso cérebro não são capazes de perceber.

Figura 5 – Fenômeno da refração



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5c/RefractionVerre.jpg/350px-RefractionVerre.jpg>. Acessado em 27 de março de 2017.

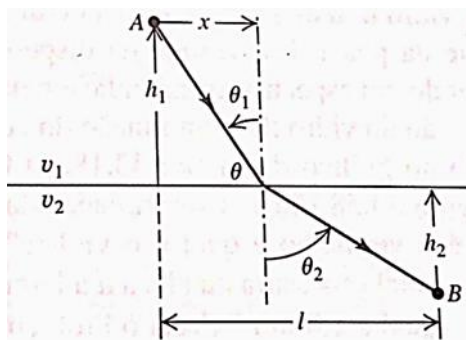
Este fenômeno pode ser explicado no princípio de Fermat¹⁷ do tempo mínimo que estabelece que quando um raio de luz se deslocando em um meio com velocidade v_1 parte de um ponto A e atinge um ponto B de outro meio com velocidade v_2 , o tempo que a luz leva para ir de A até B será mínimo quando que estabelece que

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

¹⁷ Sears e Zemansky -Física IV, Ótica e Física Moderna, V4, p.33, Young e Freedman

Esta expressão é conhecida como lei de Snell da refração e corresponde à trajetória real do raio.

Figura 6 – Representação do princípio de Fermat.



Fonte: autora, 2017

Quanto às leis da refração:

- O raio incidente, o raio refratado e a reta normal à superfície estão sobre o mesmo plano;
- Snell e René Descartes¹⁸ perceberam, de maneira independente, que por meio da função seno era possível obter uma revelação entre os ângulos de incidência e refração:

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \text{constante}$$

Essa constante está relacionada com o comportamento da luz e as características de cada meio. A razão entre as velocidades da luz em cada meio é conhecida como índice de refração, do meio 2 em relação ao meio 1.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = n_{2,1}$$

O vácuo é o meio em que a luz se propaga mais rapidamente. Por isso, adotando-se o índice de refração do vácuo¹⁹ como sendo igual a 1, podemos

¹⁸ Filósofo, físico e matemático francês.

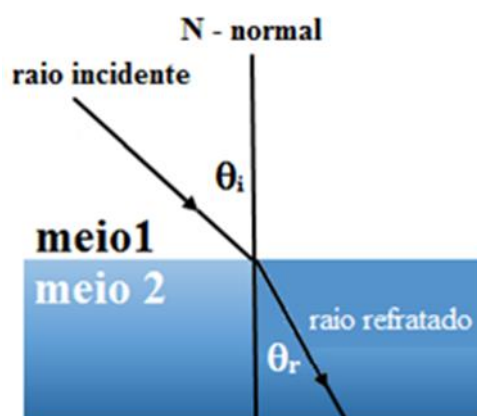
¹⁹ Na maioria dos problemas, podemos considerar o índice de refração do ar como sendo igual a 1.

determinar o índice de refração para qualquer outro meio considerando que a velocidade da luz no vácuo $c = 3 \times 10^8$ m/s de modo que

$$n = \frac{c}{v}$$

Considere um raio de luz que se propaga de um meio 1 para o meio 2. Observe a figura 7:

Figura 7 – Representação da refração.



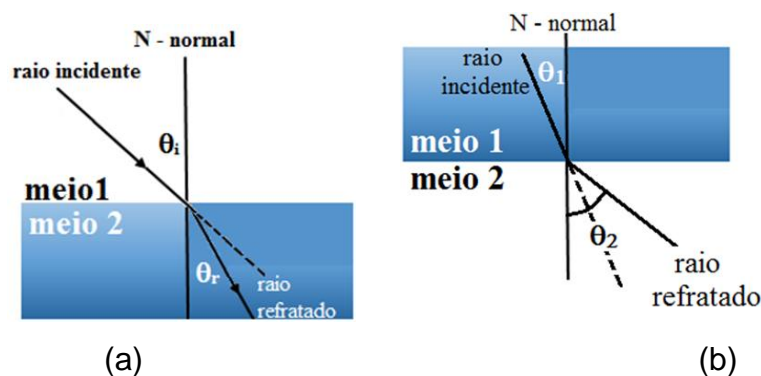
Fonte: autora, 2017

O desvio da trajetória inicial da luz depende dos valores dos índices de refração dos meios. Têm-se dois casos possíveis:

1. Se o raio de luz se propagar de um meio de menor índice de refração para outro de índice maior, o raio de luz se aproxima da reta normal. Se $n_2 > n_1 \rightarrow \sin i > \sin r \rightarrow i > r$
2. Se o raio de luz se propagar de um meio de maior índice de refração para outro de menor índice, o raio de luz se afasta da reta normal. Se $n_2 < n_1 \rightarrow \sin i < \sin r \rightarrow i < r$.

Observe a representação nas figuras 8a e 8b:

Figura 8 – Mudança de direção do raio luminoso na refração.



Fonte: autora, 2017

As linhas tracejadas representam o caminho do raio de luz caso o mesmo não sofresse o desvio da refração. O meio em azul representa o de maior índice de refração.

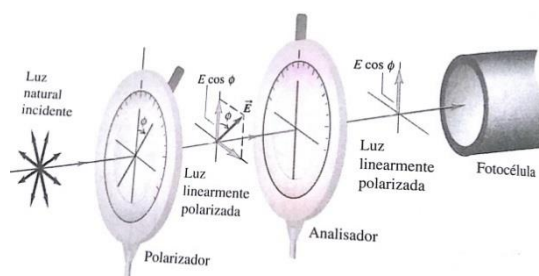
Polarização

Polarização é uma característica de todas as ondas eletromagnéticas, assim como a luz, que são ondas transversais, ou seja, ondas em que a direção de propagação é perpendicular à direção do movimento de vibração ou perturbação das partículas.

O som é uma onda longitudinal (onda em que o movimento de vibração ocorre na mesma direção de sua propagação), e, portanto, não pode ser polarizada, isto é, não ocorre o fenômeno da polarização com as ondas sonoras.

A polarização é um processo que ocorre quando a luz interage com certos materiais. No caso da luz, o filtro polarizador mais comum é chamado polaroide que transmite mais de 80% da intensidade da luz polarizada em uma direção paralela a certo eixo do material, chamado de eixo polarizador, mas menos de 1% é transmitida quando a luz é polarizada em um eixo perpendicular a esse eixo. Observe a representação da transmissão e o eixo polarizador na figura 9.

Figura 9 – Um analisador ideal que transmite somente os componentes paralelos a seu eixo de polarização.



Fonte: YOUNG e FREEDMAN, 2004, pag. 14.

Quando dois filtros são colocados em sequência a um feixe de luz não-polarizada, o primeiro elemento é chamado de polarizador e o segundo é chamado de analisador.

Se o polarizador e o analisador são cruzados, ou seja, seus eixos de transmissão são perpendiculares um ao outro, o detector não registrará nenhuma luz. Afim de se determinar a intensidade do feixe transmitido ao passar pelo analisador a equação conhecida como Lei de Malus, descoberta por E. L. Malus (1775 – 1812) será utilizada.

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

Onde I_0 é a intensidade do feixe de luz incidente.

Observe que quando os polarizadores estão cruzados, ou seja, quando $\theta = 90^\circ$, a intensidade do feixe transmitido será igual a zero e terá um valor máximo quando $\theta = 0^\circ$

Difração e Interferência

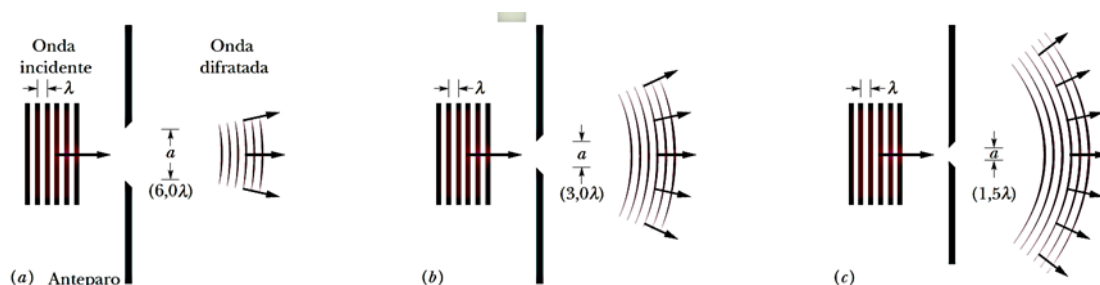
Luz é onda ou partícula?

O experimento que definitivamente mostrou que a luz tem comportamento ondulatório foi o fenômeno de difração que acontece quando uma onda encontra um obstáculo com uma pequena abertura e passa por uma fenda muito pequena quando comparada ao seu comprimento de onda, provocando a modificação no formato da frente de onda, obedecendo o princípio de Huygens.

Apesar de que o fenômeno de difração não estar limitado apenas às ondas luminosas, estaremos nos limitando a analisar este fenômeno apenas do ponto de vista da luz.

A condição para que a difração seja observada é que a fenda a ser atravessada tenha dimensões muito pequenas, e isto se deve ao fato de seu comprimento de onda ser também muito pequeno da ordem de micrometro. Na figura 10, podemos observar como o fenômeno da difração de uma onda plana por uma fenda fica mais evidenciado quanto menor for o tamanho da fenda quando comparado ao comprimento da onda incidente.

Figura 10 – Difração de uma onda, quanto a largura da fenda.

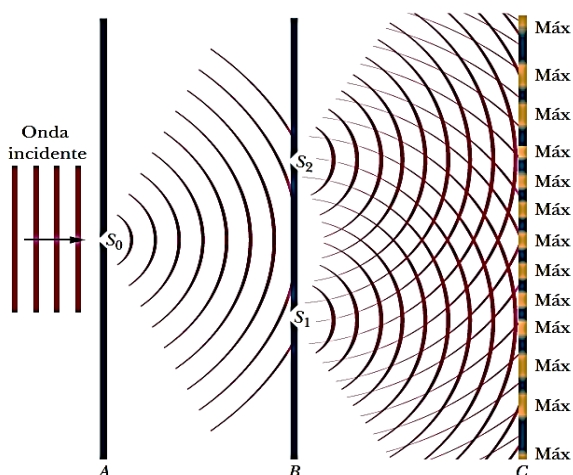


Fonte: HALLIDAY et al, 2012, pag. 77

Contrariando a ideia defendida por Newton e, conseqüentemente, por muitos cientistas da época de que a luz era constituída por partículas, Young, em 1801 não só mostra experimentalmente que a luz tem o comportamento ondulatório como também apresenta o fenômeno de interferência, determinando experimentalmente o valor médio do comprimento de onda da luz solar com excelente concordância com os valores então estabelecidos.

Na figura 11, mostramos um diagrama esquemático do experimento de Young.

Figura 11 – Interferência de Young



Fonte: HALLIDAY et al, 2012, pag. 78

Na figura observamos que quando a luz atravessa uma pequena abertura, sendo difratada gerando uma onda circular que será novamente difratada ao atingir novo obstáculo com duas fendas, e apresentará o fenômeno de interferência das ondas geradas pelas duas fendas que se comportam como se fossem fontes de ondas. As novas ondas reemitidas se propagam atingindo certos pontos do espaço que são identificados com a formação de regiões claras e escuras, demonstrando que em determinados pontos as ondas interferem construtivamente, ou seja, em fase (regiões claras) e outros pontos interferem destrutivamente, isto é, defasadas (regiões escuras).

A interferência é um fenômeno característico exclusivo das ondas, tanto das ondas mecânicas que dependem de um meio material para se propagarem, como das ondas eletromagnéticas que se propagam no vácuo. Ela é resultado da superposição de duas ou mais ondas. Como exemplos da interferência, os livros didáticos trazem, de forma corriqueira, as interferências causadas pelas ondas em cordas, ondas na água, ondas sonoras e das ondas luminosas através do experimento da dupla fenda (HEWITT, 2002; VILLAS BÔAS et al, 2010; GONÇALVES FILHO e TOSCANO, 2013).

Uma aplicação da interferência no mundo tecnológico é o uso de películas de monóxido de silício ou filmes finos em para-brisa de carros. A espessura dessas películas pode ser previamente calculada para que haja interferência destrutiva da luz. Este recurso também é utilizado em filmes para vidros de janelas para a diminuição do aquecimento do ambiente.

Quando um conjunto de fontes, que produzem ondas de mesma frequência e comprimento, pode associar a este conjunto uma coerência²⁰, ou seja, elas vibram em sincronia, em fase. Se as frentes de onda de duas fontes distintas chegam a um ponto em um mesmo instante (em fase) ou com certo atraso (defasadas), seus efeitos podem ser somados ou subtraídos, produzindo o que chamamos de interferência. Quando seus efeitos se somam, a interferência é considerada construtiva; quando ao contrário seus efeitos se subtraem, é considerada destrutiva (GREF, 2011).

Uma forma de analisarmos a interferência da luz é utilizarmos exemplos desse fenômeno em ondas mecânicas, como ondas sonoras, por serem mais rotineiras.

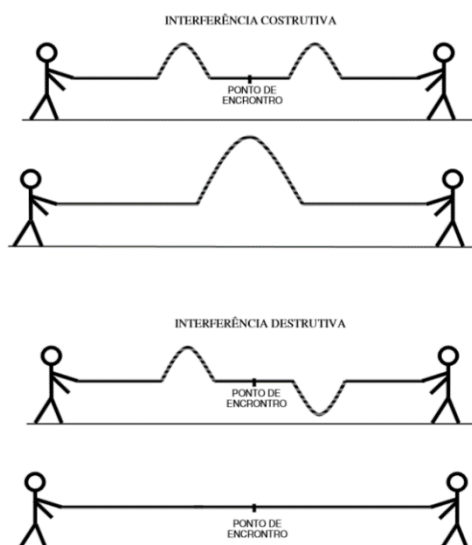
Interferência em uma Corda

Observe a figura 12, e considere ondas sendo geradas nas extremidades da corda, e estas ondas se propagam na mesma direção, com mesma amplitude e frequência, mas em sentidos opostos.

Assim, essas ondas quando estão em fase ocorre superposição formando uma interferência construtiva. Caso essas ondas estejam fora de fase ou defasadas de 180° ou π rad (radianos) ou ainda $\lambda/2$, elas se anulam formando uma interferência destrutiva.

²⁰ Um conceito importante para observarmos a interferência luminosa é que a diferença de fase entre as ondas seja mantida constante ao longo do tempo. Se essa diferença de fase for constante, dizemos que os feixes são coerentes ou que as ondas são coerentes. O *laser* é naturalmente uma fonte de luz coerente. A condição de ondas coerentes é geral para a interferência e não somente para ondas luminosas. Mais adiante discutiremos melhor a coerência da luz.

Figura 12 – Interferência construtiva e destrutiva em cordas.



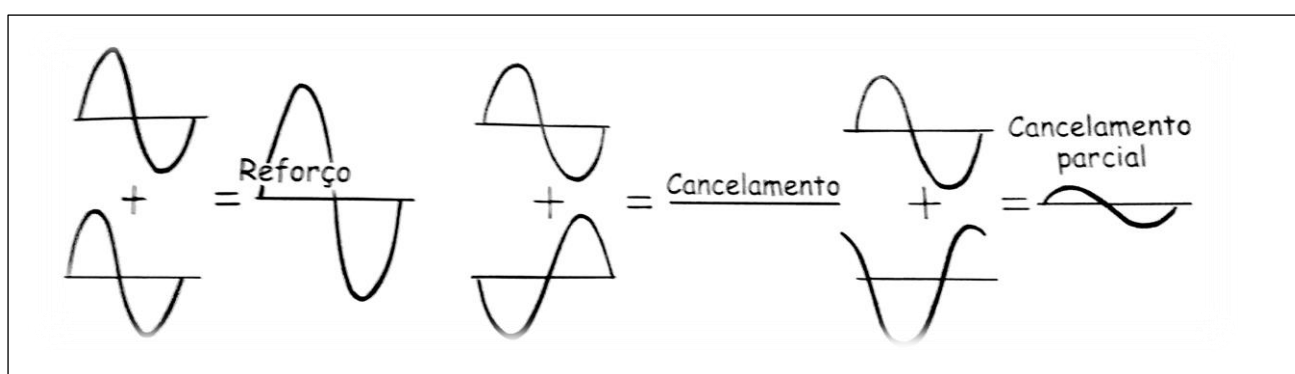
Fonte: HOFFMAN, 2010, pag. 90

Interferência Sonora

As ondas sonoras também podem apresentar interferência, mesmo sendo uma onda longitudinal, onde a crista da onda sonora corresponde a uma zona de compressão, e seu vale corresponde a uma zona de rarefação.

Temos uma interferência construtiva quando as ondas estão em fase; temos interferência destrutiva quando essas ondas estão defasadas de meio comprimento de onda $\lambda/2$ ou π rad, com isso podemos observar a ausência total ou parcial do som. Observe a figura 13, abaixo:

Figura 13 – Comportamento de duas ondas sonoras.



Fonte: HEWITT, 2002, pag. 499.

A interferência destrutiva é muito útil nos protetores auriculares na tecnologia antirruído. As combinações dos sinais cancelam o barulho produzido pelos aparelhos barulhentos no ouvido da pessoa. Fones de ouvido já são comuns entre pilotos de avião e operadores de britadeiras; além da interferência destrutiva ser aplicada nos abafadores de som de automóveis, ventiladores e outros, onde a superposição das compressões e das rarefações cancelam cerca de 95% do barulho original (HEWITT, 2002).

Propomos a título de comparação, que o leitor utilize a opção do simulador PhET²¹ que mostra o fenômeno da interferência sonora para melhor entendimento desse princípio em áudio e vídeo, antes de chegarmos, enfim, na interferência luminosa (objetivo principal do nosso estudo utilizando também outro arranjo experimental, conhecido como Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder²²).

Interferência Luminosa

A interferência é um importante fenômeno que distingue ondas de partículas. A luz vive esta dualidade quanto ao seu comportamento, ora pode e comportar como onda, ora como partícula. Assim, alguns fenômenos dependem dessa característica peculiar da luz.

A interferência é a combinação de duas ou mais ondas que se encontram em certo ponto do espaço. Thomas Young observou e constatou a respeito da interferência da luz, em 1801, que a luz se propaga por movimento ondulatório, e não por movimento de partículas, como havia sido proposto por Newton. Assim, a superposição é uma propriedade do movimento ondulatório. Não existem situações semelhantes no movimento de partículas, ou seja, elas nunca se sobrepõem (TIPLER, v.1, 2006).

Diferença de Fase

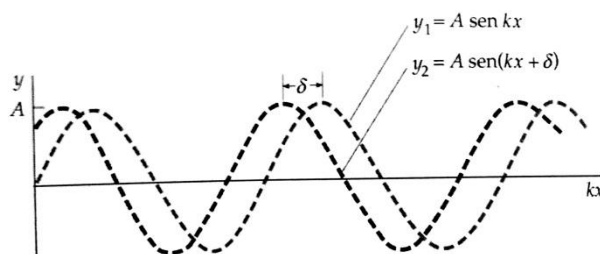
O resultado da superposição de duas ondas de mesma frequência depende da diferença de fase ϕ entre elas. Se essa diferença de fase é zero ou um inteiro

²¹ Simulador Phet intitulado: Interferência de Ondas. Disponível em: phet.colorado.edu

²² Simulador Intitulado: Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder. Disponível em: www.if.ufrgs.br/~fernanda

vezes 360° , as ondas estão em fase e interferem construtivamente. A amplitude resultante é igual à soma das amplitudes individuais, e a intensidade – proporcional ao quadrado da amplitude – é máxima. Se a diferença de fase é de 180° ou qualquer inteiro ímpar vezes 180° , as ondas não estão em fase e interferem destrutivamente. A amplitude resultante é então a diferença entre as amplitudes individuais, e a intensidade está em um mínimo. Observe a diferença de fase na figura 14 de duas ondas que têm a mesma amplitude, a mesma frequência e o mesmo comprimento de onda.

Figura 14 – Duas ondas que diferem na fase.



Fonte: TIPLER, v.1, 2006, pag. 566.

Cálculo da Intensidade da Luz

Para entendermos melhor acerca da diferença de fase – mencionada anteriormente – vamos considerar duas funções de onda que diferem em fase, para calcularmos a intensidade da luz (*laser*) sobre uma tela em um ponto qualquer P.

Considere os vetores do campo elétrico integrados as ondas luminosas que chegam ao ponto P:

$$E_1 = E_0 \text{sen}(kx - \omega t)$$

$$E_2 = E_0 \text{sen}(kx - \omega t + \varphi)$$

Onde, $\omega = 2\pi/T$ é a frequência angular das ondas e T seus períodos; $k = 2\pi/\lambda$ é o número de onda; φ é a diferença de fase, sabendo que a mesma permanece constante, pois a onda luminosa produzida pelo *laser* é uma onda

coerente; E_0 é a amplitude do campo elétrico da onda, que é igual para as duas ondas.

Sabendo disso, podemos agora calcular o campo elétrico resultante no ponto P da tela utilizando algumas relações e identidades trigonométricas (TIPLER, v. 2, 2006).

O campo elétrico resultante é a soma das funções, temos:

$$E_P = E_1 + E_2$$

$$E_P = E_0 \text{sen}(kx - \omega t) + E_0 \text{sen}(kx - \omega t + \varphi) \quad (1)$$

A equação (1) pode ser simplificada pelo uso da identidade trigonométrica:

$$\text{sen } a + \text{sen } b = 2 \cos \frac{1}{2}(a - b) \text{sen } \frac{1}{2}(a + b)$$

Para esse caso,

$$a = kx - \omega t$$

$$b = kx - \omega t + \varphi$$

Logo,

$$\frac{1}{2}(a - b) = -\frac{1}{2}\varphi$$

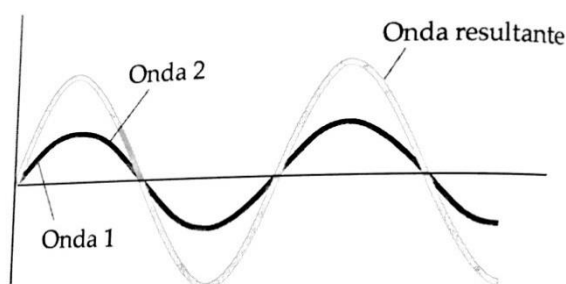
$$\frac{1}{2}(a + b) = kx - \omega t + \frac{1}{2}\varphi$$

Assim, a função resultante, torna-se:

$$E_P = \left[2E_0 \cos \frac{1}{2}\varphi \right] \text{sen} \left(kx - \omega t + \frac{1}{2}\varphi \right) \quad (2)$$

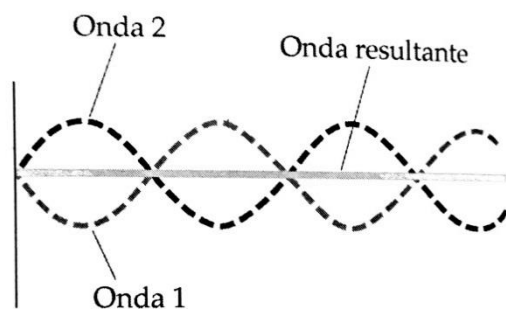
Onde $\left[2E_0 \cos \frac{1}{2}\varphi \right]$ representa a amplitude da onda resultante.

Se as duas ondas estão em fase, então $\varphi = 0$, $\cos 0 = 1$, e a amplitude da onda resultante possui seu máximo valor $2E_0$. Essa interferência é chamada de interferência construtiva. Observe a figura 15 que representa esse fenômeno.

Figura 15 – Interferência construtiva.

Fonte: TIPLER, v.1, 2006, pag. 566.

Se as duas ondas estão fora de fase ou defasadas em 180° , então $\varphi = \pi$, $\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$, a amplitude da onda resultante será nula, ou seja, possui seu valor mínimo. A interferência de duas ondas defasadas é chamada interferência destrutiva. Observe o esquema representado na figura 16:

Figura 16 – Interferência destrutiva.

Fonte: TIPLER, v.1, 2006, pag. 566.

Uma vez que a intensidade²³ da onda luminosa é proporcional ao quadrado da amplitude da onda resultante obtida pela equação (2), a intensidade no ponto P da tela é:

$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{1}{2} \varphi \quad (3)$$

Onde, I_0 é a intensidade da luz sobre a tela a partir de cada fenda.

²³ Ver detalhe do cálculo da intensidade e a demonstração da equação (3) em: TIPLER, v.2, 2006, pag. 461 e 462.

Esse resultado mostra que a intensidade pode ser nula quando o cosseno for zero, e atingir o valor de $4I_0$ quando o cosseno for +1 ou -1. Como o cosseno é uma função periódica, então existe uma alternância de máximos (que são as franjas claras), e mínimos (que são as franjas escuras).

Podemos observar na figura 11, um experimento que mostra esse padrão de interferência com as franjas claras e escuras, sendo uma abertura circular, onde o processo é semelhante ao da fenda dupla.

Experimento da Fenda Dupla de Thomas Young

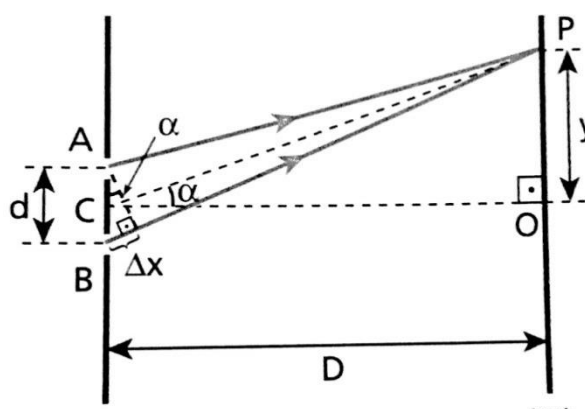
Esse experimento de Thomas Young foi importante para consolidar a teoria ondulatória da luz e demonstrar o cálculo de algumas grandezas como o comprimento de onda da luz.

Não existia *laser* no tempo de Young, mas ele permitiu que uma fonte de luz, não se sabe ao certo se foi à luz do sol, entrasse por uma abertura estreita S_0 . Observe a representação dessa experiência na figura 11.

As ondas que se espalham a partir de S_0 geram frentes de ondas coerentes que passam através de duas aberturas S_1 e S_2 . A luz ao passar por S_0 se difrata chegando como ondas esféricas em S_1 e S_2 , propagando-se no anteparo, no qual se observa um padrão de interferência descrito como uma alternância de regiões claras e escuras.

Para realizar essa experiência, Young utilizou a fenda A por não usar uma fonte de luz coerente, mas hoje com o *laser* essa fenda A com abertura S_0 pode ser dispensada. Como as frentes de onda são coerentes, isto é, estão em fase, às interferências percebidas na tela dependem apenas da diferença entre os caminhos percorridos pelos raios de luz Δx .

Figura 17 – Diferença de caminho proporcionando as franjas de interferência.



Fonte: VILLAS BÔAS et al, 2010, pag. 227.

Na figura 17, para existir em P um máximo de intensidade (região clara), é necessário que Δx contenha um número inteiro de comprimentos de onda ou um número par de meios comprimentos de onda.

$$\Delta x = k \frac{\lambda}{2}, \text{ onde } k = 0, 2, 4, 6, \dots \quad (4)$$

Para existir em P um mínimo de intensidade (região escura), é necessário que Δx contenha um número ímpar de meios comprimentos de onda.

$$\Delta x = k \frac{\lambda}{2}, \text{ onde } k = 1, 3, 5, 7, \dots \quad (5)$$

Falando agora do comprimento de onda da luz, não é nosso objetivo demonstrarmos passo a passo a descrição matemática que, porém é relativamente simples, do cálculo do comprimento de onda de luz, através de uma análise trigonométrica da figura 17 do experimento da fenda dupla.

O comprimento de onda²⁴ da luz para a interferência construtiva é obtido por:

$$\lambda = \frac{yd}{mD} \quad (6)$$

Já o comprimento de onda luminosa para a interferência destrutiva é:

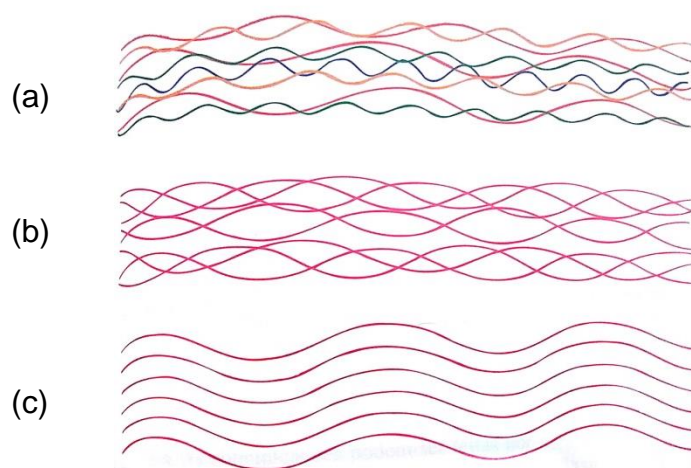
²⁴ Ver detalhes da descrição das equações (6) e (7) em: HOFFMAN, 2010, pag. 96 a 98.

$$\lambda = \frac{yd}{D(2m + 1)} \quad (7)$$

Onde m representa um número inteiro para a interferência construtiva; e um número semi-inteiro para a interferência destrutiva.

A luz de uma vela, do sol ou a luz branca de uma lâmpada possuem vários comprimentos de onda, sendo ondas não coerentes. Observe o esquema da figura 18, comparando a propagação dessas ondas ao longo do tempo em um ponto fixo do espaço.

Figura 18 – Comparando a propagação de diferentes ondas.



Fonte: HEWITT, 2002, pag. 499.

(a) Representam ondas de uma luz branca, com diferentes comprimentos de onda, ou diferentes frequências e defasadas; (b) representam ondas de uma fonte de luz monocromática, com ondas que apresentam diversas defasagens; (c) representa uma fonte de luz monocromática, todas em fase. Essa é a representação da fonte de luz *laser*.

Atenção! É importante frisar, que quando uma onda está defasada em relação à outra, isso não significa que seu comprimento de onda é diferente, ou que modificou.

REFERÊNCIAS

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física 2: interação e tecnologia**, v. 2, 1 ed. São Paulo: Leya, 2013.

GRAF: Grupo de Reelaboração do Ensino da Física. **Física 2: física térmica; óptica**. 5 ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física 4**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder. Disponível em: www.if.ufrgs.br/~fernanda> acessado em 05 de abril de 2015.

PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; OLIVEIRA, Renata C. A.; ROMERO, Talita R. L. **Física em contextos: pessoal, social e histórico: energia, calor, imagem e som**. 1 ed. São Paulo: FTD, 2010.

Simulador Interferência de Ondas. Disponível em: phet.colorado.edu> acessado em 12 de agosto de 2015.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, G. **Física para cientista e engenheiros, v. 1: mecânica, oscilações e ondas; termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, G. **Física para cientista e engenheiros, v. 2: eletricidade e magnetismo; ótica**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

VILLAS BÔAS, N.; HELOU DOCA, R.; BISCUOLA, G. J. **Física 2**. 1ed, São Paulo: Saraiva, 2010.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. SEARS e ZEMANSKY **Física IV: ótica e física moderna**. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2004.

APÊNDICE B – Instruções sobre o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder

Introdução

Quando voltamos o olhar para o que traz a literatura, livros e artigos, quanto ao comportamento ondulatório da luz, parece-nos rotineiro a descrição do experimento da fenda dupla. Mas, podemos utilizar outros recursos para entendermos e explicarmos os fenômenos da luz, principalmente, o da interferência. Um desses recursos é o Interferômetro de Mach-Zehnder, com a divisão do feixe de luz em dois novos feixes e depois suas recombinações para gerar interferência, isto é bastante simples e comum assim que notamos o experimento. O padrão de interferência visto no anteparo é circular, pois o *laser* emitido pela fonte possui uma abertura circular.

Muitos professores de física do ensino médio não têm conhecimento desse interferômetro, pois não é comum o mesmo ser mencionado em livros didáticos, tanto no ensino superior, como no ensino médio para explicar fenômenos ondulatórios da luz. Mas, torna-se uma opção relativamente simples; utilizando uma fonte monocromática, *laser*; dois espelhos semi-refletores que refletem e transmitem a luz na mesma proporção de 50% o feixe incidente; dois espelhos comuns que refletem 100% o feixe incidente; e dois anteparos para a observação da interferência. Atualmente temos esse experimento de forma virtual de livre e fácil acesso e possibilidades para aplicações no ensino.

Instruções para o uso do *Software*

Tendo acesso livre ao Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder pelo site: <http://www.if.ufrgs.br/~fernanda>, quando acessado apresenta as seguintes informações:

Prof. Fernanda Ostermann

Instituto de Física

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Interferômetro de Mach-Zehnder

Copyright (c) 2005 Fernanda Ostermann e Sandra Denise Prado

Projeto Edital Universal - 08/2004 do CNPq.

Fernanda Ostermann (Coordenadora do Projeto)

Fávia Rezende (Vice-coordenadora)

Sandra Denise Prado (Colaboradora)

Trieste dos Santos Freire Ricci (Colaborador)

Leandro Augusto Frata Fernandes (Programador)

Esse programa é distribuído gratuitamente e é destituído de qualquer garantia.

Esse programa não é de domínio público.

Gostaríamos de agradecer ao CNPq pelo apoio ao projeto 'Tópicos de Física Moderna e Contemporânea na Formação de Professores e Fundamentos Epistemológicos para a Prática Docente'. Processo 475.851/04-8

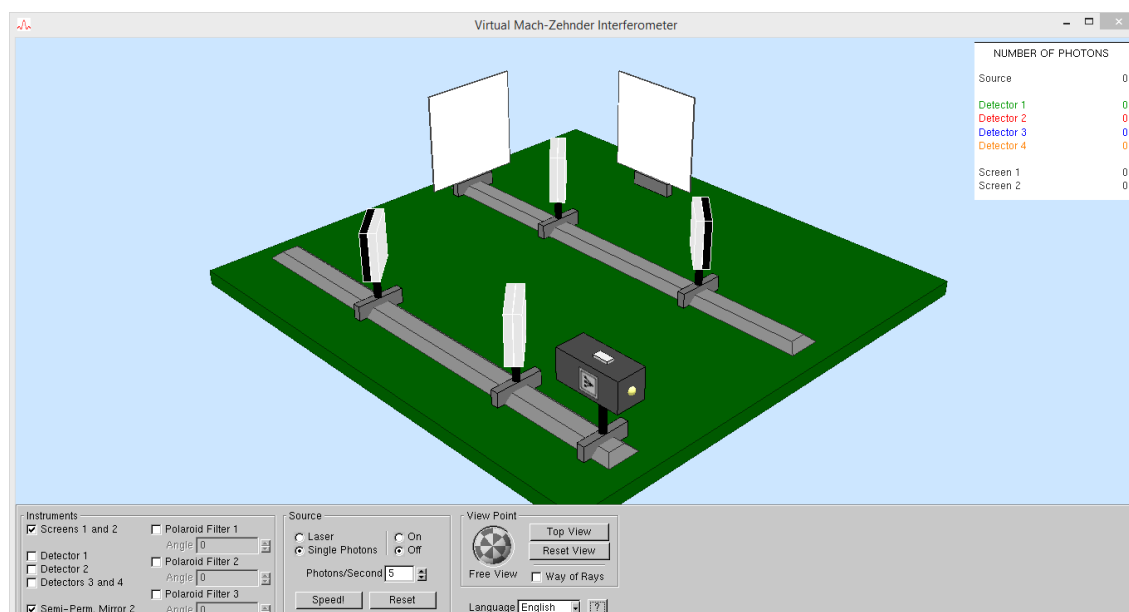
Download aqui

[Mach-Zehnder.exe](#)

Então, o professor, aluno, ou qualquer usuário que deseja conhecer o programa deve clicar em [Mach-Zehnder.exe](#) e aparecerá à opção de executar ou salvar o *Software*, podemos salvá-lo no nosso próprio computador ou pendrive, isto é importante para assegurar seu uso caso a página de acesso ao programa esteja indisponível.

Quando abrimos o programa visualizamos a seguinte imagem:

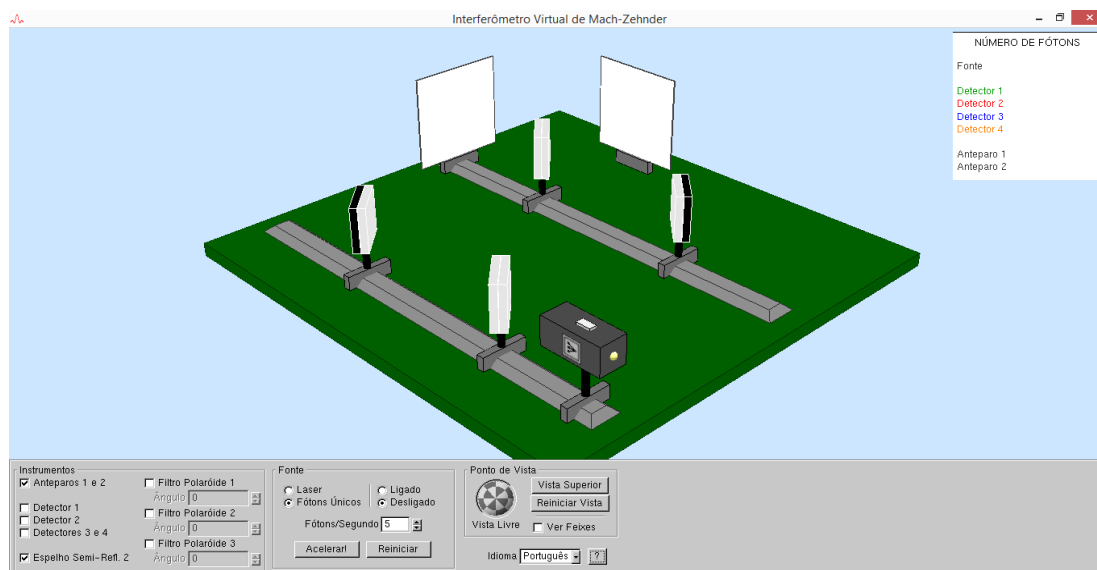
Imagem 1 – Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder.



Fonte: *Print screen* do programa.

Podemos mudar a opção do idioma em que se apresenta o programa. Existem três opções de idiomas – inglês, português ou espanhol – assim que executamos o *Software* ele se apresentará na língua inglesa. Vamos colocar a imagem 1 do interferômetro virtual na língua portuguesa para que o leitor observe melhor o “menu de controle” do aparato nessa faixa cinza, na parte inferior do programa. Observação: caso o “menu de controle” apareça desfocado ou com fundo de cor preta, diferente do que aparece na imagem, clique no botão minimizar no lado superior direito da tela.

Imagem 2 – Interferômetro Virtual na língua portuguesa.

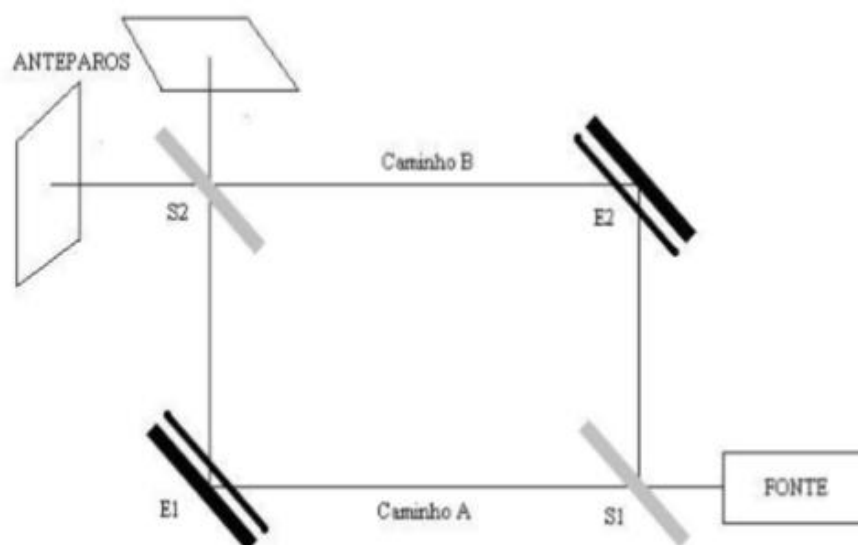


Fonte: *Print screen* do programa.

Observe na faixa cinza, parte inferior da tela, onde tem escrito Ponto de Vista, nesta opção do “menu de controle” é possível visualizar a imagem do interferômetro por diferentes ângulos. Ao clicarmos em “Vista Superior”, temos a imagem vista do alto; ao clicarmos em “Reiniciar Vista”, temos de volta, a imagem inicial do interferômetro, vista como mostrado na Imagem 2; a opção “Ver Feixes” mostra o caminho percorrido pela luz.

Quanto aos componentes presentes na formação do experimento dispostos na bancada, observe a Imagem 3 que mostra o esquema do interferômetro virtual:

Imagem 3 – Esquema do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder.



Fonte: HOFFMANN, 2010, pag. 107.

E1 e E2 são espelhos que refletem totalmente a luz; S1 e S2 são espelhos semi-refletores, refletem 50% e transmitem 50% da luz.

Observe agora no “menu de controle” a componente Fonte. Para a opção Fonte – “Fótons Únicos” – já selecionada na Imagem 2, aparecerá na imagem um quadro branco na parte superior direita da tela com a função de mostrar a quantidade de fótons lançados pela fonte, ainda podemos com esta opção mudar a velocidade em “Fótons/Segundo” que varia de 1 à 10 e ainda clicar em “Acelerar!” acelerando o processo de emissão de fótons pela fonte. Isto significa que nesta opção Fonte podemos utilizar todos os instrumentos: detectores 1, 2 ou 3 e 4, os anteparos 1 e 2, espelho semi-refletor 2, filtro polaroide 1, 2 ou 3. É importante ressaltar que não é possível trabalhar com todos os instrumentos em um só experimento. E para retirarmos ou colocarmos qualquer componente no experimento basta clicar no quadrado branco, na frente da palavra correspondente. Em “Fótons Únicos”, deve-se ter em mente que o Interferômetro Virtual trabalha fenômenos da luz em Regime Quântico que não é nosso foco.

No Regime Clássico, selecionamos em Fonte a opção “Laser”, quando selecionado percebe-se que não temos mais a oportunidade de marcarmos todos os instrumentos. Podemos agora colocar ou retirar do aparato: o espelho semi-refletor

2, os anteparos 1 e 2 (automaticamente selecionados, sem a opção de desmarque) e os filtros polaroides 1, 2 e 3. Os detectores 1, 2 ou 3 e 4 são automaticamente desmarcados, sem opção de seleção. Em Fonte “*Laser*” marcado o professor ou aluno tem a possibilidade de realizar vários experimentos, como analisar o padrão de interferência da luz nos anteparos, com ou sem filtros polarizadores, e com ou sem o espelho semi-refletor 2. Assim, montando o aparato de acordo com o experimento desejado, basta clicar em “Ligado”, caso queira parar a realização do fenômeno, basta clicar em “Desligado”.

Na primeira “caixa de comando”, chamada também por nós de “menu de controle”, na faixa cinza, na parte inferior do interferômetro virtual, temos os Instrumentos que já foram citados anteriormente:

- Anteparos 1 e 2: podem ser utilizados, tanto com a Fonte “*Laser*”, como com a Fonte “Fótons Únicos” (regime clássico e quântico) selecionados para verificar o padrão de interferência da luz, caso não se queira utilizar os anteparos, ao desmarcá-los, os detectores 3 e 4 são automaticamente marcados, isso apenas no regime quântico;
- Detectores 1, 2 ou 3 e 4: os detectores só podem ser utilizados com a opção “Fótons Únicos” selecionada, e detectam a quantidade de fótons que passam por ele. Essa quantidade é mostrada no quadro branco, na parte superior direita da tela;
- Espelho Semi-refletor 2: assim que executamos o programa este espelho já vem automaticamente selecionado, pois integra de forma natural o interferômetro de Mach-Zehnder, mas no *Software*, temos a opção de retirá-lo do experimento à depender do que se queira realizar.
- Filtros polaroides 1, 2 e 3: o professor pode utilizar esses filtros para explicar o fenômeno da polarização da luz, ver Apêndice A, já o aluno pode observar o que acontece com o padrão de interferência, quando mudamos os ângulos desses polaroides, que variam de 0° à 359° graus. Podem ser utilizados, tanto no regime clássico, como no regime quântico, neste último, a pessoa pode optar por utilizar filtros ou detectores, a depender do experimento, pois os dois não podem ser colocados simultaneamente.

Segundo HOFFMANN, 2010, podemos criar nossos próprios guias experimentais para o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder. Assim

desenvolveremos na sequência alguns guias readaptados do Interferômetro Virtual operando em regime clássico.


APÊNDICE C – Guias experimentais readaptados do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder

Segundo Hoffmann, 2010, estes guias experimentais servem de base para estudos com o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, podem também ser readaptados ou modificados por quem os utilizar.

Estes guias são sugestões em que apresentam fenômenos da luz em regime clássico, sugerindo questões que podem ser trabalhadas na Física Clássica.

O professor pode sugerir para seus alunos que criem seus próprios guias experimentais com questões pertinentes que possam ser respondidas durante ou posteriormente as aulas experimentais, tendo as sugestões abaixo como um referencial.

Guia experimental 1: Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, em regime clássico.

1. Clique no aplicativo correspondente para executar o programa  Mach-Zehnder.exe ;
2. Com o *Software* em execução, observe todos os componentes do programa na faixa cinza, na parte inferior da tela;
3. Vá para View Point (Ponto de Vista) e modifique o idioma do inglês para o português em Language (idioma) para melhor entendimento;
4. Agora, clique em Ver Feixes para identificar o caminho seguido pelos raios de luz, ilustrado pela animação na propagação de um feixe colimado;
5. Identifique no aparato os divisores de feixes, ou seja, espelhos semi-refletores, justificando sua resposta.

Guia experimental 2:

1. Vá para Fonte e escolha a opção *Laser*;
2. Ainda em Fonte selecione a opção *Ligado*;

3. Observe o que acontece nos anteparos 1 e 2. Explique o que você vê²⁵;
4. Qual fenômeno está envolvido no resultado desse experimento?
5. A luz apresenta qual comportamento?

Guia experimental 3:

1. Vá para Fonte e selecione a opção *Laser*;
2. Em Instrumentos, desmarque removendo do experimento o espelho semi-refletor 2;
3. Volte para Fonte e clique em Ligado para executar a experiência;
4. Tente explicar o resultado observado nos anteparos;
5. Você saberia qual a intensidade da luz em cada um dos anteparos, nos casos com e sem o espelho semi-refletor 2, sabendo apenas que esse feixe de luz *laser* emitido pela fonte tem intensidade I_0 ?
6. Compare os dois experimentos, com e sem o espelho semi-refletor 2. Que conclusões você pode chegar a respeito dos fenômenos observados?

Guia experimental 4: Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, em regime clássico, usando polaroides.

1. Clique no programa para executá-lo;
2. Vá para opção Fonte e marque *Laser*, observe se o espelho semi-refletor 2 está marcado;
3. Agora vamos inserir polaroides na experiência;
4. Vá para Instrumentos e selecione a opção Filtro Polaroides 1 e ele aparecerá no primeiro braço do lado esquerdo do interferômetro. Clique na opção Ligado. Qual o padrão observado nos anteparos?
5. Mude agora o ângulo desse polaroides 1 para 90° e explique o que você observa nos anteparos.
6. Analisando as experiências, é possível dizer se a fonte é ou não polarizada?

²⁵ Lembre-se que o feixe de luz refletido no espelho totalmente refletor muda de fase por um fator π radianos, enquanto o outro feixe a mudança é de $\pi/2$ radianos, que corresponde a um avanço de $1/4$ do comprimento de onda da luz.

Guia experimental 5:

1. Com a opção Fonte *Laser* selecionada;
2. Vamos inserir dois polaroides no experimento;
3. Marque as opções Filtro Polaroides 1 e Filtro Polaroides 2;
4. Agora ajuste os ângulos dos dois filtros, ambos a 90° , e depois ligue o interferômetro;
5. O que você observa nos anteparos?
6. Agora é possível dizer se a luz é ou não polarizada?

Guia experimental 6:

1. Com a mesma opção Fonte *Laser* marcada e com os dois filtros polaroides selecionados e ambos a 90° . Retire do experimento o espelho semi-refletor 2;
2. Volte para Fonte e marque a opção Ligado;
3. Explique o padrão visto nos anteparos?
4. Agora mude os ângulos dos polaroides para 180° e explique o que vê nos anteparos.

Observação: o professor pode incentivar seus alunos a montar seus próprios guias experimentais usando a Fonte *Laser* e os Filtros Polaroides 1, 2 e 3 para diferentes ângulos, com ou sem o espelho semi-refletor.

APÊNDICE D – Questionários
QUESTIONÁRIO A – Perfil do Professor

1. Seu nome (opcional):

2. Marque seu nível de instrução.
 Ensino Superior, Licenciatura Plena
 Especialização
 Mestrado
 Doutorado
 Graduação incompleta

3. Marque o(s) curso(s) de graduação já concluído(s) ou que irá concluir.
 Física Química Pedagogia Matemática
 Biologia outro

4. Marque que tipo de instituição de ensino você leciona atualmente.
 particular Pública Estadual Pública Municipal Pública Federal
 Outros

5. Você tem horas semanais para planejamento de aulas?
 sim não

6. A(s) escola(s) em que você leciona possui laboratório de ciências em uso?
 sim não

7. A(s) escola(s) onde você leciona possui laboratório de informática?
 sim não

8. Você tem computador com acesso à internet em casa?
 sim não

9. Você já trabalhou ou pretende trabalhar com seus alunos fenômenos ondulatórios?
- () sim, já trabalhei () não, mas pretendo () não trabalhei, nem pretendo () Talvez
10. Caso a resposta da questão anterior não foi Sim, você poderia nos dizer qual(is) o(s) motivo(s)?
- () sim () não

QUESTIONÁRIO B – Noções básicas sobre interferência

1. Explique utilizando conceitos da Física Clássica o fenômeno da interferência?
2. Explique a diferença entre interferência construtiva e destrutiva.
3. Quanto ao padrão de interferência luminosa, explique por que aparecem no aparato (tela) franjas claras e escuras.
4. Que tipos de ondas podem apresentar interferência? Cite Exemplos.

QUESTIONÁRIO C – Ponto de Vista do Professor sobre os Simuladores

Considere o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder e os *Softwares* da plataforma PhET que trabalhamos durante nossas oficinas e marque apenas uma das opções para cada questão:

1. Você utilizaria estas simulações com seus alunos?
() Sim () Não
2. Você considera tais ferramentas didáticas?
() Sim () Não

3. Sentiu dificuldades para manusear os *Softwares*?

() Sim () Não

4. Gostou de conhecer a plataforma PhET, o Interferômetro e suas aplicabilidades na ondulatória?

() Sim () Não

5. Você acha motivador o uso dessa ferramenta como contribuição para o interesse e a aprendizagem do aluno na disciplina de Física?

() Sim () Não

6. Você vê a possibilidade de inserção destas ferramentas como metodologia para o ensino/aprendizagem em sala de aula?

() Sim () Não

7. Comente, dê sugestões. Sua opinião é importante para a contribuição desta pesquisa (opcional).

APÊNDICE E – Respostas dos Professores ao Questionário B

Para melhor analisarmos as respostas de cada questão foram colocados, o primeiro momento referente a resposta do pré-teste, e o segundo momento referente a resposta do pós-teste, uma abaixo da outra, facilitando assim a visibilidade do desempenho e participação de cada professor.

Lembrando que nossa oficina também é uma proposta para que o professor a realize com seus alunos do Ensino Médio, então tal questionário, além da sua metodologia de aplicação e análise com professores servirá de base para ser aplicado também em sala de aula.

Os professores foram identificados da seguinte maneira: (PA, PB, PC, PD, PE, PF e PI); quanto às questões (Q1, Q2, Q3 e Q4). Assim, temos:

Q1. Explique utilizando conceitos da Física Clássica o fenômeno da interferência?

PA:

Primeiro momento:

Quando duas ou mais ondas se superpõe ocorre o fenômeno da interferência. Suas amplitudes podem ser somadas produzindo um padrão denominado interferência. A interferência pode ser construtiva ou destrutiva.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PB:

Primeiro momento:

A interferência consiste na interação no tempo e no espaço de duas ou mais ondas.

Segundo momento:

A interferência é o resultado da superposição de ondas. A superposição pode resultar em uma soma ou subtração das amplitudes das ondas.

PC:

Primeiro momento:

Não respondeu a questão.

Segundo momento:

São superposição das ondas.

PD:

Primeiro momento:

A interferência acontece quando duas ondas se chocam. Esse choque causa interferência construtiva ou destrutiva.

Segundo momento:

Não respondeu a questão.

PE:

Primeiro momento:

Interferência sonora é a parte da Física que estuda o comportamento de duas ou mais ondas quando estas se encontram provocando ondas construtivas de fases iguais, ou destrutivas de fases opostas.

Segundo momento:

Separação dos fótons, ondas construtivas e destrutivas.

PF:

Primeiro momento:

Conceito de ondulatória é a parte da Física que estuda as ondas.

Segundo momento:

É o fenômeno que representa a superposição de duas ou mais onda em um ponto.

PI:

Primeiro momento:

Quando uma onda encontra outra podendo interferir em sua amplitude ou fase.

Segundo momento:

Percebi que errei algumas definições.

Q2. Explique a diferença entre interferência construtiva e destrutiva.

PA:

Primeiro momento:

Na interferência construtiva as amplitudes da interferência são somadas aumentando o valor desta e na destrutiva ocorre uma diminuição na amplitude da onda.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PB:

Primeiro momento:

A interferência construtiva ocorre quando as ondas estão em fase. A onda resultante é a “soma” dos efeitos individuais. A interferência destrutiva ocorre quando as ondas estão em oposição de fase. A onda resultante é a “diferença” dos efeitos individuais.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PC:

Primeiro momento:

Não respondeu a questão.

Segundo momento:

Interferência construtiva em fase, quando é interferência destrutiva ocorre oposição de fase.

PD:

Primeiro momento:

A construtiva acontece quando as ondas estão em fase iguais, a destrutiva fases opostas.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PE:

Primeiro momento:

Nas construtivas os pontos de propagação se chocam nas destrutivas, as fases são opostas.

Segundo momento:

Construtiva parte que tem cor. Destrutiva parte que não tem cor após a separação.

PF:

Primeiro momento:

Construtiva – quando duas ou mais ondas se encontram e tem a mesma fase.

Destrutiva – quando duas ou mais ondas se encontram e tem fases diferentes.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PI:

Primeiro momento:

Construtiva – quando estão na mesma fase.

Destrutiva – quando estão em diferentes fases.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

Q3. Quanto ao padrão de interferência luminosa, explique por que aparecem no aparato (tela) franjas claras e escuras.

PA:

Primeiro momento:

Na interferência da luz as franjas aparecem devido as interferências construtivas e destrutivas. Nas zonas claras construtiva e nas zonas escuras destrutivas.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PB:

Primeiro momento:

As franjas claras correspondem a interferência construtiva. As franjas escuras correspondem a interferência destrutiva.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PC:

Primeiro momento:

Não respondeu a questão.

Segundo momento:

É visualizado na interferência construtivas franjas claras e na interferência destrutiva franjas escuras.

PD:

Primeiro momento:

Esse padrão acontece pois a luz é uma onda eletromagnética. Nas franjas claras acontecem interferência construtiva, e nas franjas escuras interferências destrutivas.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PE:

Primeiro momento:

Claras – construtivas

Escuras – destrutivas

Segundo momento:

Pela separação.

PF:

Primeiro momento:

Franja clara – interferência Construtiva.

Franja escura – interferência destrutiva

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PI:

Primeiro momento:

Parte clara – Construtiva.

Parte escura – destrutiva

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

Q4. Que tipos de ondas podem apresentar interferência? Cite Exemplos.

PA:

Primeiro momento:

Todo o tipo.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PB:

Primeiro momento:

Todos os tipos. Mecânicas, eletromagnéticas, longitudinais, transversais etc.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PC:

Primeiro momento:

Não respondeu a questão.

Segundo momento:

Ondas: sonoras, corda.

PD:

Primeiro momento:

Ondas mecânicas (som e corda)

Ondas eletromagnéticas (luz)

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PE:

Primeiro momento:

Sonoras – encontro dos sons

Luminosas – cores, ex. o preto absorver outras cores.

Segundo momento:

Construtiva e destrutiva

PF:

Primeiro momento:

Eletromagnética, sonora, luminosa e etc.

Segundo momento:

Repetiu a resposta do primeiro momento.

PI:

Primeiro momento:

Ondas mecânicas. Ex. ondas em um lago em varias direções. Numa corda com extremidade fixa.

Segundo momento:


Errei acrescentar a luz.

APÊNDICE F - Guias Experimentais com Respostas

Os guias experimentais trabalhados com os professores durante a oficina foram respondidos pelos mesmos. Seguindo a mesma ordem de identificação dos professores participantes, temos:

PA:

Guia experimental 1

1. Clique no aplicativo correspondente para executar o programa  Mach-Zehnder.exe ;
2. Com o *Software* em execução, observe todos os componentes do programa na faixa cinza, na parte inferior da tela;
3. Vá para View Point (Ponto de Vista) e modifique o idioma do inglês para o português em Language (idioma) para melhor entendimento;
4. Agora, clique em Ver Feixes para identificar o caminho seguido pelos raios de luz, ilustrado pela animação na propagação de um feixe colimado;
5. Identifique no aparato os divisores de feixes, ou seja, espelhos semi-refletores, justificando sua resposta.

Espelhos semi-refletores 1 e 2. Eles refletem e refratam parte da luz.

Guia experimental 2


1. Vá para Fonte e escolha a opção *Laser*;
2. Ainda em Fonte selecione a opção *Ligado*;
3. Observe o que acontece nos anteparos 1 e 2. Explique o que você vê;
Observa-se os padrões de interferência construtivas e destrutivas.
4. Qual fenômeno está envolvido no resultado desse experimento?
Interferência
5. A luz apresenta qual comportamento?
Comportamento de onda.

Guia experimental 3

1. Vá para Fonte e selecione a opção *Laser*;

2. Em Instrumentos, desmarque removendo do experimento o espelho semi-refletor 2;
3. Volte para Fonte e clique em Ligado para executar a experiência;
4. Tente explicar o resultado observado nos anteparos;
Não padrão de interferência.
5. Você saberia qual a intensidade da luz em cada um dos anteparos, nos casos com e sem o espelho semi-refletor 2, sabendo apenas que esse feixe de luz *laser* emitido pela fonte tem intensidade I_0 ?;
Intensidade é a mesma.
6. Compare os dois experimentos, com e sem o espelho semi-refletor 2. Que conclusões você pode chegar a respeito dos fenômenos observados?
Não respondeu.

PB:**Guia experimental 1**

1. Clique no aplicativo correspondente para executar o programa  Mach-Zehnder.exe ;
2. Com o *Software* em execução, observe todos os componentes do programa na faixa cinza, na parte inferior da tela;
3. Vá para View Point (Ponto de Vista) e modifique o idioma do inglês para o português em Language (idioma) para melhor entendimento;
4. Agora, clique em Ver Feixes para identificar o caminho seguido pelos raios de luz, ilustrado pela animação na propagação de um feixe colimado;
5. Identifique no aparato os divisores de feixes, ou seja, espelhos semi-refletores, justificando sua resposta.
Espelhos semi-refletores 1 e 2. O espelho reflete e refrata.

Guia experimental 2

1. Vá para Fonte e escolha a opção *Laser*;
2. Ainda em Fonte selecione a opção Ligado;
3. Observe o que acontece nos anteparos 1 e 2. Explique o que você vê;
Nos anteparos 1 e 2 observamos os fenômenos de interferência construtiva e interferência destrutiva.

4. Qual fenômeno está envolvido no resultado desse experimento?

Interferência

5. A luz apresenta qual comportamento?


Partícula ou onda

Guia experimental 3

1. Vá para Fonte e selecione a opção *Laser*;
2. Em Instrumentos, desmarque removendo do experimento o espelho semi-refletor 2;
3. Volte para Fonte e clique em Ligado para executar a experiência;
4. Tente explicar o resultado observado nos anteparos;
Não ocorre interferência.
5. Você saberia qual a intensidade da luz em cada um dos anteparos, nos casos com e sem o espelho semi-refletor 2, sabendo apenas que esse feixe de luz *laser* emitido pela fonte tem intensidade I_0 ?;
A intensidade é a mesma.
6. Compare os dois experimentos, com e sem o espelho semi-refletor 2. Que conclusões você pode chegar a respeito dos fenômenos observados?
Não respondeu.

PC:

Guia experimental 1

1. Clique no aplicativo correspondente para executar o programa  *Mach-Zehnder.exe* ;
2. Com o *Software* em execução, observe todos os componentes do programa na faixa cinza, na parte inferior da tela;
3. Vá para View Point (Ponto de Vista) e modifique o idioma do inglês para o português em Language (idioma) para melhor entendimento;
4. Agora, clique em Ver Feixes para identificar o caminho seguido pelos raios de luz, ilustrado pela animação na propagação de um feixe colimado;
5. Identifique no aparato os divisores de feixes, ou seja, espelhos semi-refletores, justificando sua resposta.
Espelho semi-refletor 1 e 2. Espelho reflete e refrata.

Guia experimental 2


1. Vá para Fonte e escolha a opção *Laser*;
2. Ainda em Fonte selecione a opção Ligado;
3. Observe o que acontece nos anteparos 1 e 2. Explique o que você vê;
No aparato 1 e 2 observa os fenômenos destrutivo e construtivo.
4. Qual fenômeno está envolvido no resultado desse experimento?
Interferência
5. A luz apresenta qual comportamento?
Partícula ou onda

Guia experimental 3

1. Vá para Fonte e selecione a opção *Laser*;
2. Em Instrumentos, desmarque removendo do experimento o espelho semi-refletor 2;
3. Volte para Fonte e clique em Ligado para executar a experiência;
4. Tente explicar o resultado observado nos anteparos;
Não tem interferência.
5. Você saberia qual a intensidade da luz em cada um dos anteparos, nos casos com e sem o espelho semi-refletor 2, sabendo apenas que esse feixe de luz *laser* emitido pela fonte tem intensidade I_0 ?
A intensidade é a mesma.
6. Compare os dois experimentos, com e sem o espelho semi-refletor 2. Que conclusões você pode chegar a respeito dos fenômenos observados?
Não respondeu.

PD:

Guia experimental 1

1. Clique no aplicativo correspondente para executar o programa  *Mach-Zehnder.exe* ;
2. Com o *Software* em execução, observe todos os componentes do programa na faixa cinza, na parte inferior da tela;
3. Vá para View Point (Ponto de Vista) e modifique o idioma do inglês para o português em Language (idioma) para melhor entendimento;

4. Agora, clique em Ver Feixes para identificar o caminho seguido pelos raios de luz, ilustrado pela animação na propagação de um feixe colimado;
5. Identifique no aparato os divisores de feixes, ou seja, espelhos semi-refletores, justificando sua resposta.

Espelho reflete. O semi-refletor – divide os fótons.

Guia experimental 2

1. Vá para Fonte e escolha a opção *Laser*;
2. Ainda em Fonte selecione a opção *Ligado*;
3. Observe o que acontece nos anteparos 1 e 2. Explique o que você vê;
Não respondeu.
4. Qual fenômeno está envolvido no resultado desse experimento?

Interferência

5. A luz apresenta qual comportamento?


Partícula

Guia experimental 3

1. Vá para Fonte e selecione a opção *Laser*;
2. Em Instrumentos, desmarque removendo do experimento o espelho semi-refletor 2;
3. Volte para Fonte e clique em *Ligado* para executar a experiência;
4. Tente explicar o resultado observado nos anteparos;
Não respondeu
5. Você saberia qual a intensidade da luz em cada um dos anteparos, nos casos com e sem o espelho semi-refletor 2, sabendo apenas que esse feixe de luz *laser* emitido pela fonte tem intensidade I_0 ?;
A intensidade é a mesma da fonte.
6. Compare os dois experimentos, com e sem o espelho semi-refletor 2. Que conclusões você pode chegar a respeito dos fenômenos observados?
Com o espelho apresenta interferência construtiva e destrutiva.

PE:

Guia experimental 1

1. Clique no aplicativo correspondente para executar o programa  Mach-Zehnder.exe ;
2. Com o *Software* em execução, observe todos os componentes do programa na faixa cinza, na parte inferior da tela;
3. Vá para View Point (Ponto de Vista) e modifique o idioma do inglês para o português em Language (idioma) para melhor entendimento;
4. Agora, clique em Ver Feixes para identificar o caminho seguido pelos raios de luz, ilustrado pela animação na propagação de um feixe colimado;
5. Identifique no aparato os divisores de feixes, ou seja, espelhos semi-refletores, justificando sua resposta.

Espelho semi-refletor – reflete e refrata

Espelho – reflete.

Guia experimental 2

1. Vá para Fonte e escolha a opção *Laser*;
2. Ainda em Fonte selecione a opção *Ligado*;
3. Observe o que acontece nos anteparos 1 e 2. Explique o que você vê;
Não respondeu.
4. Qual fenômeno está envolvido no resultado desse experimento?

Interferência

5. A luz apresenta qual comportamento?

Partícula


Guia experimental 3

1. Vá para Fonte e selecione a opção *Laser*;
2. Em Instrumentos, desmarque removendo do experimento o espelho semi-refletor 2;
3. Volte para Fonte e clique em *Ligado* para executar a experiência;
4. Tente explicar o resultado observado nos anteparos;
Não respondeu.

5. Você saberia qual a intensidade da luz em cada um dos anteparos, nos casos com e sem o espelho semi-refletor 2, sabendo apenas que esse feixe de luz *laser* emitido pela fonte tem intensidade I_0 ?
A intensidade é a mesma da fonte.
6. Compare os dois experimentos, com e sem o espelho semi-refletor 2. Que conclusões você pode chegar a respeito dos fenômenos observados?
Com o espelho aparece interferência construtiva e destrutiva.
Sem o espelho não aparece interferência.

PF:

Guia experimental 1

1. Clique no aplicativo correspondente para executar o programa  **Mach-Zehnder.exe** ;
2. Com o *Software* em execução, observe todos os componentes do programa na faixa cinza, na parte inferior da tela;
3. Vá para View Point (Ponto de Vista) e modifique o idioma do inglês para o português em Language (idioma) para melhor entendimento;
4. Agora, clique em Ver Feixes para identificar o caminho seguido pelos raios de luz, ilustrado pela animação na propagação de um feixe colimado;
5. Identifique no aparato os divisores de feixes, ou seja, espelhos semi-refletores, justificando sua resposta.
São dois espelhos semi-refletor.

Guia experimental 2


1. Vá para Fonte e escolha a opção *Laser*;
2. Ainda em Fonte selecione a opção Ligado;
3. Observe o que acontece nos anteparos 1 e 2. Explique o que você vê;
Parte escura e parte clara
4. Qual fenômeno está envolvido no resultado desse experimento?
Interferência
5. A luz apresenta qual comportamento?
Onda

Guia experimental 3

1. Vá para Fonte e selecione a opção *Laser*;
2. Em Instrumentos, desmarque removendo do experimento o espelho semi-refletor 2;
3. Volte para Fonte e clique em Ligado para executar a experiência;
4. Tente explicar o resultado observado nos anteparos;
Não respondeu.
5. Você saberia qual a intensidade da luz em cada um dos anteparos, nos casos com e sem o espelho semi-refletor 2, sabendo apenas que esse feixe de luz *laser* emitido pela fonte tem intensidade I_0 ?;
A intensidade é a mesma. Sem o espelho não há interferência, os raios são independentes.
6. Compare os dois experimentos, com e sem o espelho semi-refletor 2. Que conclusões você pode chegar a respeito dos fenômenos observados?
Com o espelho pode ver a interferência.

PI:

Guia experimental 1

1. Clique no aplicativo correspondente para executar o programa  *Mach-Zehnder.exe* ;
2. Com o *Software* em execução, observe todos os componentes do programa na faixa cinza, na parte inferior da tela;
3. Vá para View Point (Ponto de Vista) e modifique o idioma do inglês para o português em Language (idioma) para melhor entendimento;
4. Agora, clique em Ver Feixes para identificar o caminho seguido pelos raios de luz, ilustrado pela animação na propagação de um feixe colimado;
5. Identifique no aparato os divisores de feixes, ou seja, espelhos semi-refletores, justificando sua resposta.
Espelho 1 e 2 são os que apresentam no Software uma parte escura, diferente do espelho refletor.

Guia experimental 2

1. Vá para Fonte e escolha a opção *Laser*;

2. Ainda em Fonte selecione a opção Ligado;
3. Observe o que acontece nos anteparos 1 e 2. Explique o que você vê;
Parte clara e parte escura
4. Qual fenômeno está envolvido no resultado desse experimento?
Interferência
5. A luz apresenta qual comportamento?
Onda

Guia experimental 3

1. Vá para Fonte e selecione a opção *Laser*;
2. Em Instrumentos, desmarque removendo do experimento o espelho semi-refletor 2;
3. Volte para Fonte e clique em Ligado para executar a experiência;
4. Tente explicar o resultado observado nos anteparos;
Não respondeu.
5. Você saberia qual a intensidade da luz em cada um dos anteparos, nos casos com e sem o espelho semi-refletor 2, sabendo apenas que esse feixe de luz *laser* emitido pela fonte tem intensidade I_0 ?
Não respondeu.
6. Compare os dois experimentos, com e sem o espelho semi-refletor 2. Que conclusões você pode chegar a respeito dos fenômenos observados?
Com o espelho podemos ver a interferência.

ANEXO

Sugestões de Guias Experimentais Readaptados com Respostas

Aqui os professores tiveram a liberdade de produzir seus guias experimentais sem qualquer restrição quanto ao conteúdo utilizado na experiência com o Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder, dando maior destaque ao fenômeno da interferência. Foram divididos dois grupos de professores para essa produção da seguinte maneira:

- Grupo 1: PA, PB e PC – elaboração do Guia Experimental 1;
- Grupo 2: PD, PE, PF e PI – elaboração do Guia Experimental 2.

Guia Experimental 1 – Comparando fonte fótons únicos com fonte *laser*

1. Clique no programa para executá-lo.
2. Vá para opção Fonte no 'menu de controle' e marque a opção 'Fótons Únicos';
3. Observe o que aparece nos anteparos 1 e 2.
4. Que figura é formada nos anteparos quando o número de fótons emitidos pela fonte é muito grande?

Aparece nos anteparos uma figura mostrando o padrão de interferência.

5. Agora, vá para a opção Fonte e marque a opção '*laser*'.
6. Observe o que aparece nos anteparos 1 e 2.
7. Confronte o padrão formado nos anteparos com o padrão que foi observado quando a fonte 'Fótons Únicos' estava selecionada.

O padrão é igual, tanto com a fonte laser. Como fótons únicos em grande quantidade emitidos pela fonte, forma-se interferência, temos então a oportunidade de verificar o princípio dual da luz nessa experiência.

Guia Experimental 2 – Utilizando Polaróide

1. Clique no programa para executá-lo.
2. Com o programa aberto observe as ferramentas disponíveis no *Software*.
3. Clique em 'Ver Feixes' para visualizar os caminhos seguidos pelos raios de luz.
4. Identifique os divisores de feixes.

Os divisores são os espelhos semi-refletores.

5. Vá para Fonte e selecione a opção *laser*.

6. Explique o que acontece se adicionarmos polaroides ao experimento.

Dependendo do ângulo do polaroide a luz passará ou não.

7. Insira no experimento o 'Filtro Polaroides 1'. Ele aparecerá no Interferômetro.

Clique em 'ligado'.

8. Qual o padrão observado nos anteparos?

Padrão de interferência construtiva – centro iluminado e

Padrão de interferência destrutiva – centro do anteparo sem luz.

9. Agora mude o ângulo do 'Filtro Polaroides 1' para 90° (noventa graus) e explique o que você observa nas telas.

Ocorreu uma dispersão da luz nos anteparos, a onda não passa pelo filtro polaroide 1 a 90° .