



LUIZ DA SILVA

**ATIVIDADE DE DEMONSTRAÇÃO
INTERATIVA (ADI): PROBLEMATIZANDO O
ESTUDO DA DIFRAÇÃO E DA INTERFERÊNCIA.**

LAVRAS - MG

2015

LUIZ DA SILVA

**ATIVIDADE DE DEMONSTRAÇÃO
INTERATIVA (ADI): PROBLEMATIZANDO O
ESTUDO DA DIFRAÇÃO E DA INTERFERÊNCIA.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, área de concentração Física na Educação Básica, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador
Dr. Ulisses Azevedo Leitão
Coorientador
Dr. Gilberto Lage

LAVRAS–MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Silva, Luiz da.

Atividade de Demonstração Interativa (ADI) : Problematizando
o estudo da difração e da interferência / Luiz da Silva. – Lavras :
UFLA, 2015.

155 p. : il.

Dissertação (mestrado profissional)–Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador(a): Ulisses Azevedo Leitão.

Bibliografia.

1. Difração e Interferência da luz. 2. Aprendizagem
Significativa. 3. Demonstração Interativa. 4. Física Moderna. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

LUIZ DA SILVA

**ATIVIDADE DE DEMONSTRAÇÃO
INTERATIVA (ADI): PROBLEMATIZANDO O
ESTUDO DA DIFRAÇÃO E DA INTERFERÊNCIA.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, área de concentração Física na Educação Básica, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

APROVADA em 10 de dezembro de 2015:

Dra. Helena Libardi - UFLA

Dr. Luciano Fernandes Silva - UNIFEI

Dra. Solange Gomes Faria Martins - UFLA

Dr. Ulisses Azevedo Leitão
Orientador

LAVRAS - MG

2015

Dedico esse trabalho a minha família: Em especial a minha esposa e a minha filha, pelo apoio e souberam compreender as minhas ausências. Aos meus pais pela educação.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciências Exatas (DEX) e, ainda, à Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo UFLA, que souberam entender as minhas dificuldades e mesmo assim não desistiram de me animar sempre.

Aos meus pais pela educação que me deram.

À minha esposa Lucieny pela dedicação e apoio, pela compreensão durante as minhas ausências durante o curso.

À minha querida filha Alice que me deu um novo sentido para viver.

Agradeço de forma especial aos meus orientadores Ulisses A. Leitão e Gilberto Lage pela compreensão, pelo tempo tão precioso dedicado a realização desse trabalho.

Agradeço a todos os colegas por compartilhar de forma harmoniosa as dificuldades enfrentadas ao longo do curso.

Agradeço a Deus que me deu o dom da vida e que está sempre presente na minha vida...

*“O que me faz esperançoso não é a certeza do achado,
mas mover-me na busca...”*

(Paulo Freire)

RESUMO

Este trabalho relata a produção e o desenvolvimento de uma proposta de sequência didática para o ensino da difração e interferência da luz, em uma abordagem experimental investigativa. Sua principal característica consiste na adaptação da metodologia de Aula de Demonstração Interativa (ADI), visando engajar o estudante em um ambiente de questionamento. Diferentemente de outras abordagens, a presente proposta consiste de uma inovação metodológica ao focar a transposição didática na evolução conceitual do aluno durante o processo de ensino-aprendizagem. Ela foi desenvolvida a partir de uma perspectiva Vygotskyana, favorecendo a interação entre os atores do processo e contribuindo para uma aprendizagem significativa. Foi desenvolvido um aparato experimental simples usando um laser de diodo. O aparato permite a observação da difração da luz em um fio de cabelo. A partir da construção de “conflitos cognitivos”, a sequência didática induz a discussão dos conceitos envolvidos no tópico curricular, sem perder de vista a contextualização e sua aplicação para além do ambiente escolar. Foi utilizado um *applet* do *Physics Education Technology Project - PhET* para introduzir os conceitos básicos de ondas e interferência. O objetivo da sequência didática é a construção conceitual e experimental da representação da luz como um fenômeno ondulatório. A temática é relevante, abrindo possibilidades para a introdução de temas de Física Moderna no ensino médio. É uma sequência flexível e adaptável à realidade da comunidade escolar. A proposta foi aplicada em uma escola de ensino médio e a análise dos resultados se deu através da investigação das respostas dos alunos às questões da sequência didática, observação direta do comportamento dos alunos durante a atividade, registros de áudio e do diário de campo, e uma análise quantitativa da percepção dos estudantes através de um questionário de avaliação da sequência didática.

Palavras-chaves: Difração e Interferência da luz, Aprendizagem Significativa, Demonstração Interativa, Física Moderna.

ABSTRACT

This paper describes the production and the development of a proposal for a didactic sequence for teaching diffraction and interference of light on an enquiry-based approach. Its main feature is the adaptation of the methodology Interactive Lecture Demonstrations (ILD), in order to engage students in active inquiry. Unlike other approaches, this proposal consists of a methodological innovation by focusing the didactic transposition in the conceptual evolution of the students during the process of teaching and learning. It is developed upon a Vygotskian perspective, favoring the interaction between the actors in the process, contributing to a meaningful learning. A simple experimental apparatus was developed using a laser diode. The apparatus allows the observation of light diffraction by a hair. By means of the construction of a "*cognitive conflict*", the didactic sequence induces the discussion of the concepts involved in this curricular topic, without losing sight of the context and its application beyond the school environment. It was used an applet of the PhET - Physics Education Technology Project, in order to introduce the basics of waves and interference. The aim of the didactic sequence is the conceptual and experimental construction of the representation of light as a wave phenomenon. The theme is relevant, opening up possibilities for the introduction of modern physics topics in high school. It is a flexible sequence and it is easily adaptable to the reality of the school community. The proposal was applied on a secondary school and the analysis was done through research of students' answers to the questionnaire of the didactic sequence, direct observation of the student behavior during the activity, audio records and field diary and a quantitative analysis of the perception of students through an evaluation test of the didactic sequence.

Keywords: Diffraction and interference of light, Meaningful Learning, Interactive demonstration, Modern Physics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa conceitual de ondas.	35
Figura 2 – Representação do Princípio de Huygens.	38
Figura 3 – Ondas planas difratando ao passar pelo orifício do anteparo.	39
Figura 4 – Representação da montagem de Young para a interferência com luz solar onde, a, b e c são orifícios.	41
Figura 5 – Os raios que partem de ambos os elementos difratores, fontes F1 e F2, se superpõem na tela C, pois percorrem caminhos ópticos diferentes (d1 e d2).	42
Figura 6 – Ampliação dos orifícios evidenciando os elementos difratores e também os ângulos.	42
Figura 7 – Ilustração simplificada da interferência construtiva das ondas eletromagnéticas linearmente polarizadas ao longo da mesma direção.	43
Figura 8 – Ilustração simplificada da interferência destrutiva das ondas eletromagnéticas linearmente polarizadas ao longo da mesma direção.	43
Figura 9 – Duas fontes F1 e F2 emitem ondas eletromagnéticas harmônicas idênticas e em fase.	44
Figura 10 – Formação do máximo central de difração entre os dois primeiros mínimos.	47
Figura 11 – Protótipo experimental para observação da difração em fio de cabelo.	68
Figura 12 – Folha quadriculada mostrando ondas em fase.	70
Figura 13 – Folha quadriculada mostrando ondas fora de fase.	71

Figura 14 – Aparato experimental para observação do fenômeno da difração.	76
Figura 15 – Ondas senoidais impressas em transparências para verificação da superposição de ondas.	98
Figura 16 – Eixo 1 – Relevância da atividade x C1 – Rendimento Acadêmico Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.	109
Figura 17 – Eixo 7 – Metodologia x C1 – Rendimento Acadêmico Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.	110
Figura 18 – Eixo 5 – Apoio dos Colegas x C2 - Participação Acadêmica Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.	112
Figura 19 – Eixo 7 - Metodologia x C2 - Participação Acadêmica Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.	113
Figura 20 – Imagem ilustrativa de onda no mar.	128
Figura 21 – Janela do simulador Interferência de ondas do PhET.	129

Figura 22 – Abas de opções de tipos de ondas disponível no simulador	
Interferência de ondas do PhET.	129
Figura 23 – Controle de frequência da onda.	130
Figura 24 – Controle medidor (Fita métrica).	130
Figura 25 – Janela do simulador de ondas em água com uma fenda . .	133
Figura 26 – Janela do simulador de ondas em água com duas fendas .	134
Figura 27 – Janela do simulador para a luz	134
Figura 28 – Aparato experimental.	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metodologia ADI em oito passos (Sokoloff, 2012).	58
Tabela 2 – Descrição das etapas da sequência didática interferência e difração	64
Tabela 3 – Síntese da sequência didática do trabalho	85
Tabela 4 – Categorização das respostas dadas às questões da atividade aplicada na etapa 1.	86
Tabela 5 – Respostas dos alunos para a primeira questão.	90
Tabela 6 – Categorias das Concepções dos alunos para a primeira questão da atividade.	91
Tabela 7 – Resumo das respostas dos alunos as questões 2 e 3.	92
Tabela 8 – Categorização das respostas dos alunos dadas as questões 2 e 3.	93
Tabela 9 – Resumo das respostas dos alunos para a questão 4.	93
Tabela 10 – Categorização das previsões dos alunos para questão 4.	94
Tabela 11 – Resumo das respostas dos alunos a questão 5.	94
Tabela 12 – Resumo das respostas dos alunos referentes a questão 6.	95
Tabela 13 – Categorização das respostas dos alunos às questões 5 e 6.	95
Tabela 14 – Categorização das respostas dos alunos da atividade 1 – Ondas em fase	99
Tabela 15 – Categorização das respostas dos alunos dadas à atividade 2 – Ondas em oposição de fase	100
Tabela 16 – Categorização das respostas dos alunos para o questionamento da atividade 3	101

Tabela 17 – Respostas dos alunos num total de 5 (cinco) grupos para espessura do fio de cabelo.	102
Tabela 18 – Média e desvio padrão da percepção dos estudantes de cada eixo. Eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação na atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão, Eixo 7 – Metodologia	106
Tabela 19 – Média e o desvio padrão das características dos estudantes, criada pelo professor pesquisador. Características: C1 Rendimento Acadêmico – C2 Participação acadêmica.	107
Tabela 20 – Coeficiente de correlação. Características do estudante: C1 – Rendimento acadêmico, C2– Participação acadêmica. Eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação na atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão, Eixo 7 – Metodologia.	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PCN Parâmetros Curriculares Nacionais

ADI Aula de Demonstração Interativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Motivação para o estudo	21
1.2	Colocação do problema	24
1.3	Objetivos	27
1.3.1	Objetivo Geral	27
1.3.2	Objetivos Específicos	27
1.3.3	Justificativa	28
1.4	Organização da dissertação	31
2	REFERENCIAL TEÓRICO	32
2.1	Física Ondulatória	32
2.1.1	Estrutura Conceitual	32
2.1.2	Princípio de Huygens	37
2.1.3	Interferência	40
2.1.4	Difração	45
2.2	A experimentação no ensino de física	49
2.3	As Teorias de Aprendizagem	53
2.4	Aulas de Demonstração Interativa	57
3	METODOLOGIA	61
3.1	A escola e os participantes	61
3.2	Desenvolvimento da sequência didática	62
3.3	Estrutura da Sequência Didática	63
3.3.1	Primeira Etapa – Roteiro utilizando o simulador PhET	67

3.3.2	Segunda etapa – Questionamento e previsão de resultado .	68
3.3.3	Terceira Etapa – Desafio experimental	69
3.3.3.1	Atividade 1 – Difração e interferência da luz (Ondas em fase)	69
3.3.3.2	Atividade 2 – Difração e interferência da luz (Ondas fora de fase) . . .	70
3.3.3.3	Atividade 3 – Difração e interferência da luz	71
3.3.3.4	Atividade 4 – Desafio experimental de se medir a espessura de um fio de cabelo	72
3.4	Procedimentos para a coleta de dados	74
3.5	Procedimentos para a análise de dados	77
3.5.1	A análise qualitativa	78
3.5.2	A análise quantitativa	81
4	RESULTADOS E ANÁLISES	84
4.1	Análises das respostas às questões conceituais	85
4.1.1	Primeira Etapa: Sequência Didática utilizando o simulador computacional PhET	86
4.1.2	Segunda Etapa – Previsão e Questionamento	89
4.1.3	Terceira etapa – Desafio experimental	97
4.2	Análise e Discussão do questionário de percepção .	103
4.2.1	Valores das médias e dos desvios padrão	106
4.2.1.1	Eixos e Categorias de maior destaque	109
5	DISCUSSÃO	114
5.1	Registro dos comentários dos alunos	116
6	CONCLUSÃO	118
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

	APÊNDICES	127
	APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA: MATERIAL DO ALUNO	128
A.1	Roteiro 1 – Primeira Etapa	128
A.2	Roteiro 2 – Segunda Etapa	136
A.3	Roteiro 3 – Terceira Etapa	142
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DOS ALUNOS	151
	APÊNDICE C – MODELO DO QUESTIONÁRIO 1	154
	APÊNDICE D – MODELO DO QUESTIONÁRIO 2	155

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a educação brasileira até meados do século XX era fortemente influenciada pelo sistema americano de educação, que considerava as escolas como empresas. Segundo [Rosa e Rosa \(2007\)](#):

O termo vigente na época, nos Estados Unidos, e conseqüentemente no Brasil, era a instrução programada, o reforço positivo, cujos enfoques dominaram o ensino nas diferentes disciplinas curriculares, inclusive no ensino da Física. A situação esteve presente no sistema educacional brasileiro nas décadas de 1960 e 1970, nos quais muitos dos professores que atuam hoje no ensino, principalmente nas universidades brasileiras, tiveram sua formação. A teoria de aprendizagem que imperava no sistema educacional foi proposta por Skinner, psicólogo americano, que apoiava seus pressupostos na valorização dos mecanismos que resultariam no comportamento observável dos indivíduos, não considerando o que ocorre na mente desses indivíduos. Para ele, a aprendizagem ocorre devido ao reforço, à repetição, desta forma o ensino deveria criar condições para que as respostas fossem dadas inúmeras vezes ([ROSA; ROSA, 2007, p. 6](#)).

O ensino focava a repetição cabendo ao professor a tarefa de proporcionar mecanismos de reforço. Criando assim, situações de repetição tantas vezes quantas necessárias até que o aluno exibisse o comportamento desejado. Contudo, ainda na década de 70, o método skinneriano acabou sendo questionado. Posteriormente, segundo [Rosa e Rosa \(2007\)](#), começaram a aparecer trabalhos direcionados para a valorização dos processos mentais, permitindo que novas teorias de aprendizagem fossem pesquisadas e vincu-

ladas ao ensino de física, como por exemplo, a aprendizagem construtivista, as teorias de Ausubel e Vygotsky, onde o centro é o educando, considerado capaz de construir seu próprio conhecimento. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs):

Quando foi promulgada a LDB 4024/61, o cenário escolar era dominado pelo ensino tradicional, ainda que esforços de renovação estivessem em processo. As propostas para o ensino de ciências debatidas para a confecção daquela lei orientavam-se pela necessidade de o currículo responder ao avanço do conhecimento científico e às novas concepções educacionais, deslocando o eixo da questão pedagógica, dos aspectos puramente lógicos para aspectos psicológicos, valorizando a participação ativa do aluno no processo de aprendizagem (BRASIL, 1997, p. 47).

Seguindo nessa direção, a proposta deste trabalho surgiu da necessidade de motivar os alunos, em geral, desinteressados e indiferentes no que se refere ao aprendizado de conteúdos programáticos habituais no ensino de Física. Ensino este, tão distante do mundo dos alunos. O ensino de Física nas escolas brasileiras tem, em geral, um baixo rendimento que resulta em altos índices de reprovação, retenção e abandono. Uma das razões é o modelo passivo de aprendizado fomentado nos ambientes tradicionais de ensino em que alunos raramente interagem produtivamente e onde o estímulo é a nota e não o conhecimento. Nesse sentido, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio enfatizam que:

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significados. Privilegia

a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como as de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo (BRASIL, 2000, p. 22).

Atualmente, o que se espera do ensino, em especial do ensino de Física? Por mais complexo que pareça, o processo de ensino aprendizagem passa sempre por métodos e instrumentos pedagógicos. Como passar o aluno da situação de passivo a ativo no processo ensino aprendizagem? É um grande desafio! Mas o importante é que a técnica de ensino seja transformada, habilitando o aluno a responder perguntas e buscar informações necessárias para o seu conhecimento.

Seguindo a lógica histórica, destacamos também o uso do experimento como estratégia para o desenvolvimento da sequência didática, pois o uso de atividades experimentais potencializa o desenvolvimento da aprendizagem. Segundo Gaspar e Monteiro (2005), a prática experimental é um elemento motivador, gerador de desafios, interações sociais, tendo como foco o conteúdo, desde que o professor a torne significativa.

A busca de novos procedimentos e estratégias é indispensável para se conseguir um ensino de qualidade e que seja atrativo para o estudante. É nesse sentido que desenvolvemos esse trabalho. Ainda segundo os PCNs (BRASIL, 2002), é preciso, portanto, selecionar conteúdos e escolher metodologias coerentes com nossas intenções educativas.

1.1 Motivação para o estudo

Ao iniciarmos este trabalho, estabelecemos como meta estimular o estudante a desempenhar um papel ativo e envolvido no processo de ensino e aprendizagem. Para esse objetivo, desenvolvemos uma sequência didática relativa ao tópico difração e interferência da luz, que utiliza, essencialmente, as aulas de demonstração interativas (ADI) propostas por Sokoloff (2012). Por mais de duas décadas, esse autor realizou uma pesquisa sobre o entendimento da física pelos alunos e usou os resultados desta pesquisa para desenvolver estratégias de aprendizagem ativa para melhorar a compreensão dos alunos em cursos de introdução à Física, em companhia dos colegas Ronald Thornton e Priscila Laws. A mensagem aqui é provocar o aluno, envolvê-lo através do confronto de suas crenças com as observações do mundo real e instigá-lo a procurar uma explicação com os seus pares para chegar numa conclusão. Ainda segundo Sokoloff (2012), os alunos são mais inclinados a acreditar nos resultados práticos de um experimento do que numa afirmação do professor. Utilizamos também como estratégia para o desenvolvimento da sequência didática o ensino na perspectiva interacionista de Vygotsky (2001), priorizando o diálogo, a participação coletiva em que o conhecimento se dá pelo processo cognitivo e não pelo mecânico sob a mediação de um parceiro mais capaz.

Um número relativamente grande de artigos procura descrever inovações pedagógicas e metodológicas no ensino de Física, focando a investigação na evolução conceitual do aluno no processo de ensino-aprendizagem. [Sokoloff \(2012\)](#) descreve a utilização de montagens experimentais para o ensino de diferentes tópicos de ótica, dentro de uma proposta metodológica denominada Aula de Demonstração Interativa (ADI, em inglês Interactive Lecture Demonstration). Essa abordagem tem como característica principal desenvolver uma estratégia problematizadora. Por que problematizadora? O papel aqui do professor é o de desafiar o estudante com perguntas, problemas, observações e dados. A estratégia é retirar o aluno do papel de mero espectador e inseri-lo como peça principal na aprendizagem. Essa abordagem coaduna com o que diz também o PCN Ensino Médio:

O conhecimento prévio dos alunos, tema que tem mobilizado educadores, especialmente nas últimas duas décadas, é particularmente relevante para o aprendizado científico e matemático. Os alunos chegam à escola já trazendo conceitos próprios para as coisas que observam e modelos elaborados autonomamente para explicar sua realidade vivida, inclusive para os fatos de interesse científico. É importante levar em conta tais conhecimentos, no processo pedagógico, porque o efetivo diálogo pedagógico só se verifica quando há uma confrontação verdadeira de visões e opiniões; o aprendizado da ciência é um processo de transição da visão intuitiva, de senso comum ou de autoelaboração, pela visão de caráter científico construída pelo aluno, como produto do embate de visões ([BRASIL, 1997](#), p. 52).

A ideia norteadora do presente trabalho é possibilitar ao estudante comunicar-se, interagir com seus colegas, com o professor, debater, valorizar a atividade em grupo para haver discussão e aproximá-lo da realidade

experimental. Propomos uma sequência didática para o ensino de física ondulatória com metodologias participativas muito diferentes das aulas expositivas tradicionais, superando as dificuldades do método tradicional.

Hoje se discute o papel do experimento em sala de aula ([Giordan \(1999\)](#), [Francisco, Ferreira e Hartwig \(2008\)](#) e [Pereira \(2010\)](#)), e a importância de se usar atividades experimentais para promover e favorecer uma aprendizagem mais significativa. Mas, porque a maioria dos professores não utilizam tais atividades? Segundo [Giani \(2010\)](#):

As pesquisas em Ensino de Ciências vêm crescendo nos últimos anos, e um assunto muito abordado e discutido é a utilização de trabalhos experimentais como estratégia de ensino. Nessa perspectiva, um número significativo de especialistas em Ensino de Ciências propõe a substituição do verbalismo das aulas expositivas, e da grande maioria dos livros didáticos, por atividades experimentais ([FRACALANZA et al, 1986](#)), embora a experimentação seja apenas uma das muitas alternativas possíveis para que ocorra uma aprendizagem significativa ([GIANI, 2010](#), p. 5).

Em sua dissertação, [Giani \(2010\)](#) escreve que as atividades experimentais devem ser elaboradas levando em conta os conhecimentos prévios dos alunos, aceitando que nenhum conhecimento é assimilado do nada, mas deve ser construído ou reconstruído.

A sequência didática desenvolvida no presente trabalho faz parte do produto educacional elaborado para este trabalho de mestrado, e procura trabalhar a parte experimental através de um arranjo experimental simples, mas que dá ênfase tanto no experimento real quanto no virtual, utilizando uma simulação computacional para procurar aprimorar o conceito de on-

das. A proposta é ensinar difração e interferência usando uma estratégia que possibilite ao aluno participar mais ativamente na construção do seu conhecimento. A nossa intenção é fazer com que os conceitos espontâneos ou cotidianos (informais), que os alunos desenvolvem na convivência social, evoluam para os conceitos científicos (formais). É neste sentido, que o professor aqui assume o papel de mediador na formação do conhecimento.

Enfim, o cerne do nosso trabalho é a reflexão e o desafio intelectual do estudante para a construção de uma aprendizagem potencialmente significativa dos fenômenos de difração e interferência da luz, construindo inúmeras possibilidades para que o estudante possa ser mais reflexivo e atuante na sua vida social.

1.2 Colocação do problema

Muito se tem discutido sobre a abordagem tradicional no ensino de um modo em geral, e com a física não é diferente [Mizukami \(1986\)](#). Até a década de 50 o professor detinha o conhecimento e o papel do estudante, mesmo numa atividade experimental, por exemplo, era apenas a de espectador ([Azevedo \(2004\)](#), [Borges \(2002\)](#), [Rosa e Rosa \(2005\)](#)). Hoje ainda há o predomínio desse tipo de ensino. A aprendizagem passiva, – [Freire \(1997\)](#) chamou-a de educação bancária, – é aquela em que o aluno é apenas ouvinte e não participa ativamente do processo de construção de conhecimento, apenas recebe o que o professor dono do saber e da verdade tenta transmitir, ou melhor, depositar. Esse tipo de ensino leva os alunos ao cansaço, à desmotivação e a decoreba. O estudante é mero reproduzidor do conhecimento e tem dificuldades em trabalhar em grupos.

O professor se depara com o desenvolvimento de uma série de re-

cursos educacionais utilizando ambientes de simulação nos últimos anos e se vê num dilema de como utilizar toda essa tecnologia a seu favor e como torná-las significativas, uma vez que determinada experiência pode se dar toda em “ambientes computacionais”. Nesse sentido, acreditamos que o uso de simulação computacional tenha um grande potencial de aplicação no ensino de Física (GADDIS, 2000), pois permite a construção conceitual associada aos fenômenos de interesse de forma interativa, com o aluno sendo protagonista no processo de aprendizagem. Da mesma forma, o uso de atividades experimentais interativas deve também produzir o mesmo tipo de interação aluno aprendiz e que tenha significado para o aluno em especial no ensino de fenômenos de interferência e difração, dada a necessidade de construir conceitos complexos.

Na construção desse trabalho analisamos e comparamos vários artigos para verificarmos o panorama das publicações na área de ensino de óptica, que tratam de forma especial dos fenômenos difração e interferência. Segundo Ribeiro e Verdeaux (2012), foram publicados entre 1998 e 2010 cerca de 21 trabalhos na área de óptica e 3 trabalhos de ondas de um total de 92 trabalhos publicados no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física e Física na Escola. A partir dessa análise concluímos que é crescente o número de trabalhos que envolvem os fenômenos de difração e interferência, mas ainda é muito tímida a quantidade de os trabalhos que sugerem uma profunda abordagem metodológica de aprendizagem dos temas citados da forma como optamos por fazer, utilizando para complementar e justificar o nosso trabalho as teorias de aprendizagem de Ausubel, Vygotsky e em especial a metodologia ADI de Sokoloff.

Na apresentação do referencial teórico, no próximo capítulo detal-

haremos a metodologia ADI. Por hora, gostaríamos de salientar que a ADI tem como principal característica o movimento entre dois polos. Em primeiro lugar os estudantes são desafiados a refletir e prever o comportamento esperado em uma determinada situação-problema. Em um segundo momento eles são confrontados com a realização experimental proposta. Assim, a metodologia ADI permite não só a sondagem das concepções prévias dos estudantes, mas também desenvolvem um “conflito cognitivo” quando estas concepções prévias não dão conta da complexidade da situação proposta.

O principal marco teórico que fundamenta o presente trabalho, é a possibilidade da observação experimental, no contexto da metodologia ADI, gerar um “conflito cognitivo” que fomente a aprendizagem potencialmente significativa.

Segundo [Piaget e Chomsky \(1987\)](#):

...quando o aluno se depara com uma situação nova, tentará, inicialmente, utilizar seus esquemas (conceituais) para dar conta de solucionar a situação. Quando percebe que nesta nova situação assimilada, seus esquemas não são suficientes para solucionar o problema, este sujeito entra em conflito cognitivo. Este conflito cognitivo gera um desequilíbrio cognitivo o qual mobilizará o indivíduo na busca por novas respostas, com o propósito de solucionar a questão. ([PIAGET; CHOMSKY, 1987](#), p.63-74).

Portanto, esperamos que o desenvolvimento da sequência didática baseada na ADI, produza uma mudança significativa no processo de ensino-aprendizagem dos estudantes em sala de aula. Vamos investigar esse processo no contexto do ensino de temas ligados ao comportamento ondulatório da

luz, motivando os estudantes ao estudo da Física moderna, que está presente em tudo que nos cerca.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma sequência didática para o ensino de difração e interferência da luz, baseada em uma abordagem problematizadora, fazendo uso da metodologia de Aulas Demonstrativas Interativas (ADI), e que possa ser utilizada em uma sala de aula do ensino médio.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar uma sequência didática para discutir conceitualmente o comportamento ondulatório da luz.
- Construir um aparato experimental simples, para ser utilizado na demonstração interativa.
- Utilizar simulações computacionais para trabalhar a construção com os alunos dos conceitos de ondas.
- Criar um ambiente de questionamento, onde o aluno seja levado a questionar e a fazer previsões acerca dos fenômenos físicos observados.
- Propor atividades que viabilizem a desconstrução dos conceitos prévios, através do conflito cognitivo, quando esses conceitos estiverem baseados no senso comum dos estudantes.
- Incentivar a colaboração e a aprendizagem em grupos.

- Articular os conceitos associados aos fenômenos da difração e interferência da luz.
- Analisar estatisticamente a proposta da sequência didática através da percepção dos estudantes.
- Elaborar um material de apoio para o professor com as discussões das alternativas de trabalho do material, bem como as dificuldades encontradas durante sua execução.

1.3.3 Justificativa

Atualmente, o perfil do aluno mudou muito, mas o do professor nem tanto. A escola hoje mantém a mesma tradição de muitos anos atrás. Sobreviveu. Mas ainda sobreviverá a tantas mudanças ocorridas no mundo tecnológico de hoje? Para (MARTINSI, apud MELO; AMORIM; ROSA, 2012), os desafios contemporâneos demandam um repensar da educação, de modo que seus recursos sejam diversificados e ofereçam novas alternativas para os indivíduos interagirem e se expressarem. Hoje o aluno se comporta como no passado, ou seja, passivo diante do que lhe é ensinado na escola. Temos professores despreparados, práticas docentes arcaicas e a medida que o tempo passa o aluno está cada vez mais desmotivado, desiludido com esse sistema obsoleto de ensino em especial o de Física, como no passado. Não resta dúvida de que o ensino de Física precisa ser melhorado e este é um grande desafio para os poucos professores da área.

É nesse sentido que essa proposta descreverá estratégias para promover a participação ativa dos alunos na sua aprendizagem. O foco será aulas de demonstração interativas e atividades experimentais, em especial

no ensino da difração e interferência da luz. Essa metodologia ADI, segundo Sokoloff (2012), foi elaborada para colocar os estudantes ativos no processo, ao invés deles permanecerem passivos nas aulas tradicionais. Com esse procedimento foi possível observar mudanças significativas no ambiente de ensino-aprendizagem tanto em universidades como em escolas de nível médio.

As atividades experimentais são verdadeiras fontes para que ocorra uma aprendizagem significativa, veja o que diz o PCN+ Ensino médio:

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável. Isso inclui retomar o papel da experimentação, atribuindo – lhe uma maior abrangência para além das situações convencionais de experimentação em laboratório (BRASIL, 2002, p. 84).

Um grande número de publicações, no Brasil e no exterior, tem foco no ensino de óptica, ondas e difração. Vicenzi (2007) registra uma grande alteração na abordagem do tema nos livros didáticos do ensino médio nos últimos anos. Segundo a autora:

"É evidente a mudança na forma de apresentação do assunto Difração e Interferência nos livros didáticos: as publicações mais recentes estão fornecendo informações mais fundamentadas sobre as propriedades da luz, como ideias acerca dos fenômenos, conceitos, aplicações tecnológicas relacionadas à luz

e ondas e sugestões de demonstrações" (VICENZI, 2007, p. 13).

Entretanto, em especial no Brasil, causa surpresa à quase ausência de uma discussão pedagógica mais profunda sobre os processos de ensino-aprendizagem relacionados a esse tópico.

Nessa proposta consultamos várias bibliografias, como, por exemplo, livros didáticos, revistas especializadas em ensino de Física e os PCN's. Conseguimos observar que há um grande avanço na forma de apresentar os tópicos Difração e Interferência da luz. Mas temos que avançar muito para aproximarmos nossa prática docente da realidade do aluno, para que estimulemos o seu comportamento indagador e investigativo e fazer proveito dos conceitos aprendidos com situações reais. A presente proposta tem em sua metodologia a grande vantagem de induzir o aluno ao processo de investigação do fenômeno, de reflexão conceitual, ao contrário de simplesmente apresentá-lo diante de um conhecimento estático, pré-formulado como apresentado nos livros didáticos das escolas de ensino médio. Na visão de [Grisa et al. \(2008\)](#) e [Melo, Amorim e Rosa \(2012\)](#), torna-se necessário estratégias diferenciadas de ensino, que desenvolvam nos cidadãos do século XXI as habilidades necessárias para compreender os conceitos bem como o ambiente em que estão inseridos.

Segundo Parâmetros Curriculares Nacionais:

É preciso rediscutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada. Sabemos todos que, para tanto, não existem soluções simples ou únicas, nem receitas prontas que garantam o sucesso. Essa é a questão a ser enfrentada

pelos educadores de cada escola, de cada realidade social, procurando corresponder aos desejos e esperanças de todos os participantes do processo educativo, reunidos através de uma proposta pedagógica clara (BRASIL, 1997, p. 23).

Diante desse contexto, buscamos alternativas de melhorar o aprendizado, em especial dos conceitos envolvidos em fenômenos ondulatórios e no tratamento ondulatório da luz. Acreditamos que seja possível, através do desenvolvimento de uma sequência didática que tenha como foco a Aula de Demonstração Interativa e a utilização de experimento, trabalhar os conceitos da física ondulatória de uma maneira potencialmente significativa.

1.4 Organização da dissertação

O presente trabalho é composto de introdução, seguido do capítulo 2, que trata do referencial teórico, onde são apresentados os aspectos teóricos de acordo com as teorias de aprendizagem de Ausubel e Vygotsky, e em seu aspecto metodológico, a ADI de Sokollof. No capítulo 3 destacamos a metodologia do trabalho, descrevemos a Sequência Didática, a coleta de dados e os procedimentos de análise de dados. No capítulo 4 apresentamos os resultados e a análise. No capítulo 5 apresentamos uma discussão geral da atividade. No capítulo 6 temos a conclusão do trabalho. E por fim apresentamos as referências e o apêndice que deram suporte para a finalização desse projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Física Ondulatória

2.1.1 Estrutura Conceitual

O número de eventos que envolvem o movimento ondulatório é muito grande e diversificado, desde a música até a propagação da luz. Os fenômenos ondulatórios, em especial das ondas eletromagnéticas como a luz, estão presentes no cotidiano de todo cidadão, seja no funcionamento de aparelhos celulares, aplicações na medicina e transmissão de informação. Apesar de ser um tema fundamental para a compreensão da natureza ondulatória da luz, somente alguns poucos livros didáticos mencionam o assunto interferência e difração da luz. [Vicenzi \(2007\)](#) ainda destaca que, em geral, sua abordagem é tradicional e deficiente, o aluno não tem possibilidade de explorar os fenômenos descritos e não deixam claro para os estudantes que uma boa compreensão desses fenômenos é de extrema importância para a compreensão de aspectos tecnológicos da vida moderna. O ensino dos fenômenos ópticos, por exemplo, fica restrito à ótica puramente geométrica, na maior parte das vezes. Autores como Alberto Gaspar fogem a essa regra quando afirmam que:

"...o conhecimento de óptica ondulatória é essencial, sobretudo para a compreensão das ideias de física moderna. Por exemplo, a experiência da dupla fenda de Young é básica para a compreensão do enigmático caráter dual da luz."([GASPAR, 2004](#) apud [VICENZI, 2007](#), p. 10).

A definição de onda é qualquer perturbação que se propaga em um meio. Exemplo: uma pedra jogada em uma piscina (a fonte) provocará ondas na água, pois houve uma perturbação. Em uma ola, durante um jogo de futebol, percebemos o movimento de sobe e desce dos espectadores, sem que ninguém se desloque, pois onda transporta somente energia, ela só faz a transferência de energia cinética da fonte para o meio, sem que haja transporte de matéria. A propagação das ondas envolve, em geral, um meio material para se propagarem, com exceção das ondas eletromagnéticas que se propagam no vácuo. Uma onda possui uma frequência e um comprimento de onda. A frequência corresponde ao número de vezes que uma onda passa por um ponto do espaço num certo intervalo de tempo, ou seja, ao número de oscilações da onda por unidade de tempo em relação a um referencial. A frequência é geralmente expressa em oscilações por segundo ou Hertz. O comprimento de onda indica a distância entre dois pontos semelhantes de onda, ou seja, na mesma fase. O intervalo de tempo para que ocorra uma oscilação completa da onda é chamado de período da onda. A velocidade de uma onda pode, portanto, ser calculada dividindo o espaço que ela percorre pelo correspondente intervalo de tempo. Sabemos que:

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

A distância percorrida pela onda corresponde ao comprimento de onda e o intervalo de tempo ao período, portanto, temos:

$$V = \frac{\lambda}{T}$$

Com essas definições e sabendo que período corresponde ao inverso da frequência, $f = 1/T$, obtemos uma equação que é de extrema importância em todo o estudo dos fenômenos ondulatórios:

$$V = \lambda \cdot f$$

Apresentamos na figura 1 um mapa conceitual mostrando os principais conceitos que envolvem a propagação de ondas e, a seguir, o desenvolvimento conceitual de forma especial dos fenômenos Difração e Interferência da luz.

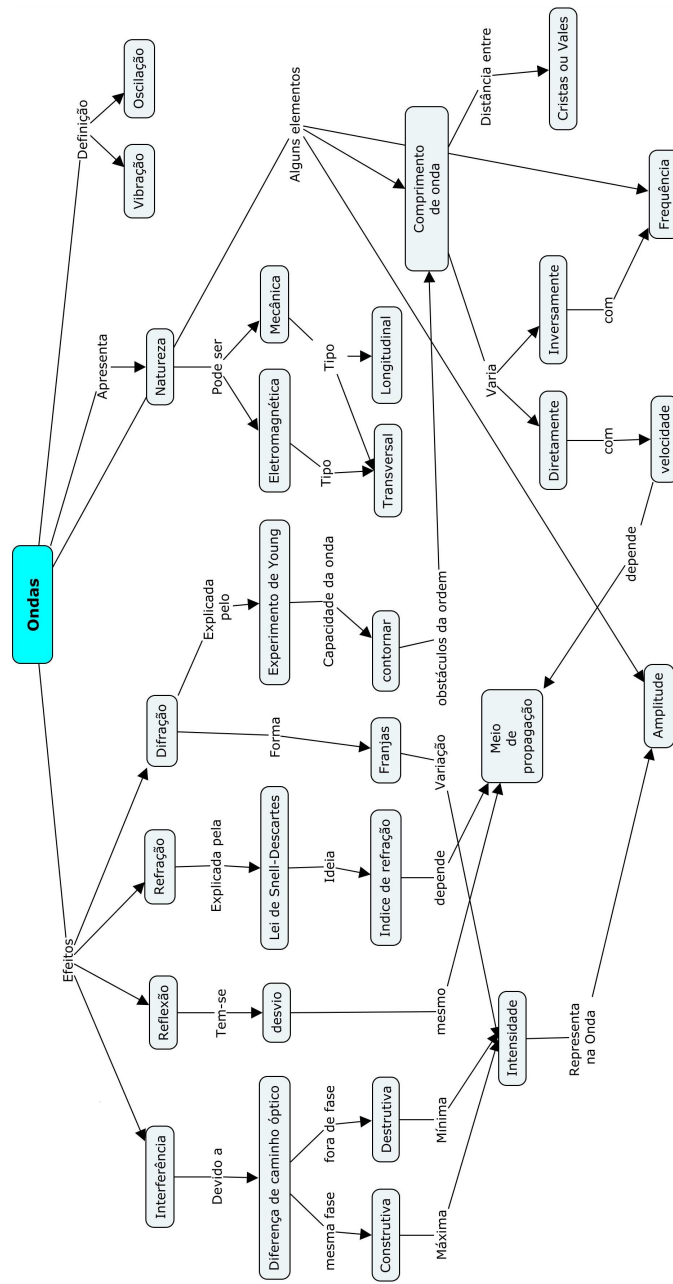


Figura 1 – Mapa conceitual de ondas.

A ênfase do nosso trabalho são os fenômenos da difração e da interferência da luz. Vamos começar com um exemplo. Imagine que você está no corredor de uma escola, perto da entrada de uma sala onde vários alunos se encontram conversando. Você não consegue vê-los, mas é possível escutar a conversa deles. Portanto, parece que a onda sonora (som) sofreu desvio enquanto que a onda luminosa (luz) não. Como explicar? A entrada da sala pode ser considerada como uma fenda por onde as ondas passarão. Segundo o princípio de Huygens, que veremos com mais detalhes no próximo tópico, como descrito por Alberto Gaspar:

Cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado uma nova fonte de ondas secundárias que se propagam em todas as direções. Em cada instante, a curva ou superfície que envolve a fronteira dessas ondas secundárias é a nova frente de onda (GASPAR, 2010, p. 33).

Contudo, ao atravessar a porta, as ondas não ficarão restritas à área que está diante dela, elas vão atingir as regiões que lhe são adjacentes. É por isso que uma pessoa encostada na parede, no lado de fora, pode escutar a conversa. Mas, por que não vê-los? A resposta dessa pergunta tem que levar em conta a relação entre o comprimento da onda e a dimensão (tamanho) do obstáculo. O comprimento de uma onda sonora varia em média de 1,7 cm até 17 m. Este comprimento de onda é comparável com o tamanho de uma porta. Já o comprimento de uma onda luminosa é extremamente pequeno quando comparado ao tamanho da porta, e por isso, sua difração é minúscula e praticamente não notável. Ou seja, a difração da luz é difícil de ser percebida para uma fenda das dimensões de uma porta.

Esses dois fenômenos são tipicamente ondulatórios, e não podem ser analisados em termos da óptica geométrica.

2.1.2 Princípio de Huygens

Vamos trabalhar a óptica ondulatória baseada no princípio do cientista Holandês Christian Huygens. Esta é uma forma didática de apresentar a dinâmica de propagação de uma onda que parte da observação que cada partícula do meio, através do qual evolui uma onda, transmite o movimento a todas as partículas à sua volta. Assim, cada ponto de uma onda comporta-se como se fosse a própria fonte dessa onda. Pelo princípio proposto por Huygens em 1678, cada ponto da frente de onda de uma perturbação ondulatória torna-se uma fonte de uma onda esférica secundária. A soma destas ondas secundárias determina a forma da onda em qualquer momento posterior. Com este princípio, ele foi capaz de fornecer uma explicação qualitativa para a propagação linear e esférica das ondas luminosas, e derivou as leis da reflexão e refração. Entretanto, não pode explicar os efeitos de difração. Em 1816, Fresnel mostrou que o princípio de Huygens, junto a seu próprio princípio da interferência poderia explicar tanto a propagação retilínea da luz quanto também os efeitos de difração. Para obter a concordância com os resultados experimentais, ele teve que incluir suposições arbitrárias adicionais sobre a fase e amplitude das ondas secundárias, e também um fator de obliquidade. Estes pressupostos não têm fundamento físico óbvio, mas levou a previsões que concordaram com muitas observações experimentais.

Para ilustrar, na Figura 2 considere a posição de uma frente de onda em um instante t_1 qualquer. Como cada ponto da primeira linha de onda, no instante $T = t_1$, comporta-se como uma fonte de onda secundária, com as

mesmas características da fonte original, podemos traçar os círculos a partir de cada ponto, formando no instante $T = t_2$ a nova frente de onda, que é a superfície tangente a todas as ondas secundárias formadas pelas fontes secundárias.

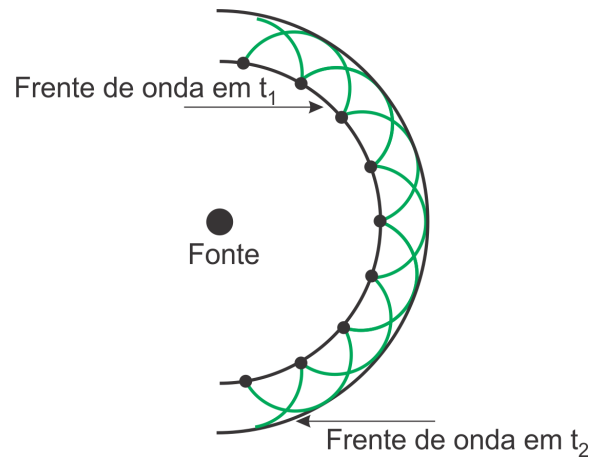


Figura 2 – Representação do Princípio de Huygens.

Fonte: <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/principiodehuygens.php>>

Seguindo Huygens, esse princípio permite prever o comportamento de uma onda quando esta encontra um obstáculo no seu caminho. De acordo com Huygens, a fenda pode ser considerada como uma fonte pontual de ondas secundárias que se propagam em todas as direções. Na figura 3 temos esse efeito.

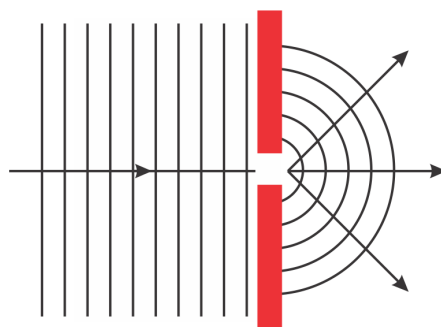


Figura 3 – Ondas planas difratando ao passar pelo orifício do anteparo.

Fonte: <<http://www.alunosonline.com.br/fisica/difracao.html>>

O princípio de Huygens ajuda a entender tanto os fenômenos da interferência como os da difração. Vamos primeiramente falar da interferência, que ocorre quando duas fontes de ondas se combinam num determinado ponto, a partir do experimento da dupla fenda de Young. Depois disso, apresentaremos o fenômeno da difração, um pouco mais complexo, que ocorre quando muitas delas se combinam numa região do espaço. Embora [Feynman, Leighton e Sands \(2008\)](#), terem escrito que não há diferença física entre interferência e difração, se analisarmos os fenômenos com mais detalhes e rigor científico, perceberemos que se trata de duas situações diferentes, e não apenas uma questão de linguagem, havendo diferença física considerável entre esses fenômenos.

A análise desses fenômenos requer uma física e matemática mais elaboradas que não aprofundamos por não ser relevante para o nosso trabalho.

2.1.3 Interferência

A interferência é uma característica tipicamente ondulatória que ocorre quando duas ou mais ondas se encontram num determinado ponto no espaço no mesmo instante. Como essas ondas se combinam? Através do princípio da superposição, que é a soma algébrica das perturbações de cada onda, produzindo um deslocamento resultante igual à adição dos deslocamentos provocados pelas ondas individuais, válido tanto para ondas mecânicas, quanto para ondas eletromagnéticas. É uma somatória de ondas, e no caso de ondas eletromagnéticas, estamos somando campos elétricos e magnéticos originados de duas fontes estáveis no tempo (coerentes). Encontro de duas cristas ou dois vales produzem uma oscilação resultante máxima, chamada de interferência construtiva e a superposição de crista com vale, obtém-se uma resultante mínima, denominada de interferência destrutiva. Mas, e a luz?

Conforme [Gaspar \(2010\)](#), o físico inglês Thomas Young (1773-1829), contribuiu com a teoria ondulatória da luz ao propor o que ele chamou de princípio da interferência, segundo o qual duas ondas distintas ao se propagarem num mesmo meio e ao longo de uma mesma direção, produzem num anteparo franjas de interferência resultante da combinação dos movimentos de cada uma, conforme a figura 4.

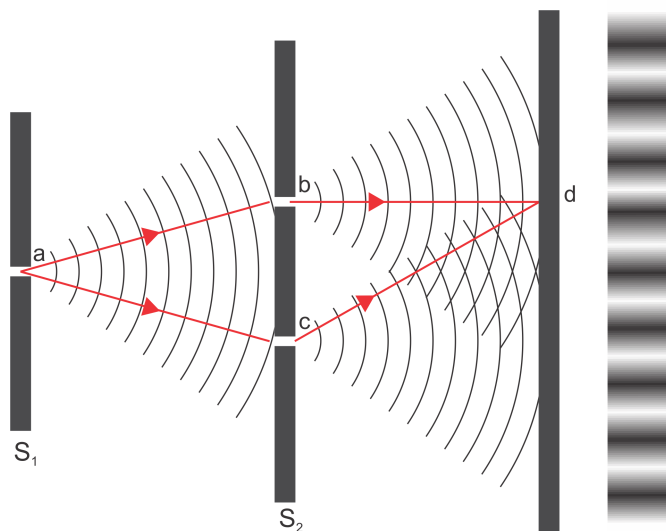


Figura 4 – Representação da montagem de Young para a interferência com luz solar onde, a, b e c são orifícios.

Fonte: <<http://www.physicsoftheuniverse.com/dates.html>>

Para calcular o comprimento de onda da luz, através da experiência de fenda dupla, Young idealizou os percursos de dois raios de luz (d_1 e d_2) que partem das fontes (F_1 e F_2) e atingem o ponto P a uma distância y do eixo central. A figura 5 mostra tal situação.

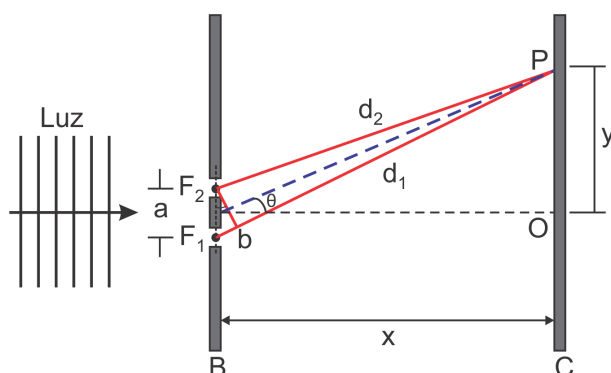


Figura 5 – Os raios que partem de ambos os elementos difratores, fontes F_1 e F_2 , se superpõem na tela C , pois percorrem caminhos ópticos diferentes (d_1 e d_2).

Nesse fenômeno estamos considerando as fontes pontuais, ou seja, o tamanho das fendas 1 e 2, por onde passa a luz, foram consideradas ideais, de larguras desprezíveis, pois senão, de acordo com Huygens, entre as fendas temos infinitas fontes de ondas, aí teremos outro fenômeno que é a difração, que veremos no próximo tópico com mais detalhes. A figura 6 está ampliada para mostrarmos o fenômeno.

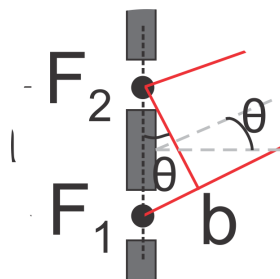


Figura 6 – Ampliação dos orifícios evidenciando os elementos difratores e também os ângulos.

As fontes estão separadas por uma distância x do anteparo C e os raios de luz (d_1 e d_2) percorrem distâncias distintas, cuja diferença de

comprimento é $F1b$ (figuras 5 e 6). Esta diferença produz um padrão de claros e escuros, ondas em fases e em oposição de fases que geram interferências construtivas (franjas claras) ou destrutivas (franjas escuras). O tipo de interferência depende da distância percorrida pelas duas ondas. As figuras 7 e 8 ilustram esses efeitos.

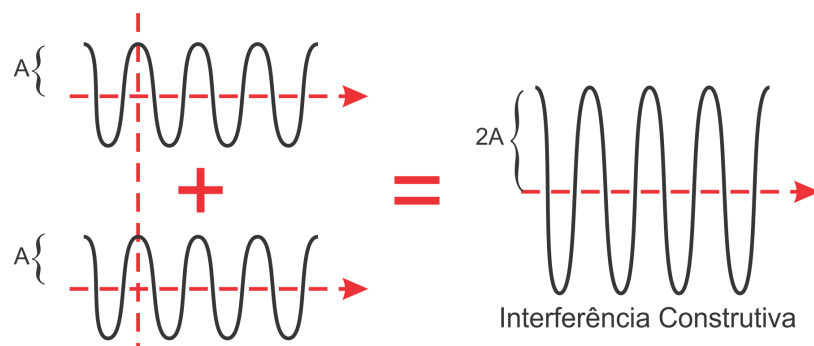


Figura 7 – Ilustração simplificada da interferência construtiva das ondas eletromagnéticas linearmente polarizadas ao longo da mesma direção.

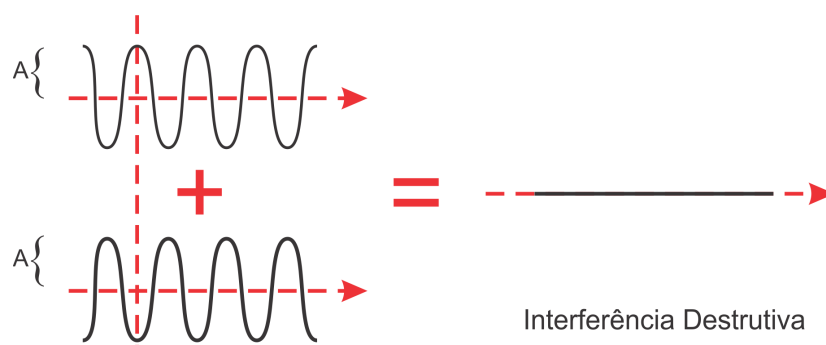


Figura 8 – Ilustração simplificada da interferência destrutiva das ondas eletromagnéticas linearmente polarizadas ao longo da mesma direção.

Em geral, o efeito de superposição das ondas num ponto do espaço é determinado pela diferença entre as fases das duas ondas com que elas chegam a esse ponto. A diferença de fase é usualmente introduzida através

da diferença de caminhos. Se duas ondas harmônicas idênticas e em fase fossem emitidas por duas fontes F1 e F2, elas sofreriam interferência em um ponto qualquer P do espaço e dependerá da diferença entre as distâncias d_1 e d_2 que as ondas percorrerem a partir das suas fontes até um ponto qualquer do espaço dado pela figura 9.

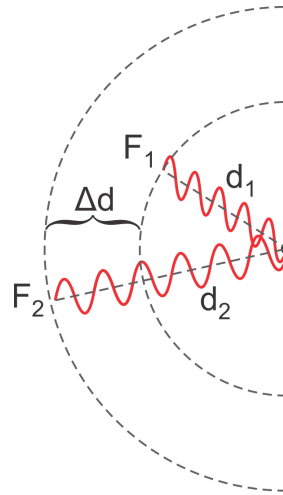


Figura 9 – Duas fontes F1 e F2 emitem ondas eletromagnéticas harmônicas idênticas e em fase.

A figura 9 permite entender de maneira simples, se a diferença dos caminhos for $d_2 - d_1 = n\lambda$, ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) onde n é um número inteiro (ordem da franja) e λ o comprimento de onda, a onda oscilará com amplitude dobrada num ponto qualquer, isto é, ocorrerá interferência construtiva neste ponto, franja clara, que é um ponto de brilhante. Por outro lado, se a diferença for $d_2 - d_1 = (n + \frac{1}{2})\lambda$ teremos interferência destrutiva, e no ponto P a onda resultante será nula, que corresponde a franja escura, que é ausência de luz. Claro que estamos fazendo aproximações, por exemplo, como a distância entre o anteparo e as fendas é muito grande quando com-

paradas com a distância entre as fendas ($X \gg d$) podemos considerar que os raios PF_1 e PF_2 são praticamente paralelos conforme a figura 6, portanto no triângulo formado, podemos fazer que $d_2 - d_1 = a \cdot \sin(\theta)$. A intensidade das franjas depende da energia de cada fonte que foi redistribuída no anteparo, umas regiões têm mais e outras tem menos energia, a interferência não destrói nem cria energia. Uma análise mais detalhada pode ser vista no produto da dissertação.

No tópico seguinte temos o fenômeno da difração analisado de forma simplificada para o nosso trabalho, pois não entramos em detalhes, pois há muita física por trás e fora dos nossos objetivos, além é claro, fora do nível dos alunos do ensino médio.

2.1.4 Difração

A difração é exclusivamente ondulatória e esse fenômeno permite entender o poder de resolução de certos instrumentos ópticos, como por exemplo a luneta, o microscópio e máquinas fotográficas. Ocorre quando uma frente de onda encontra um obstáculo ou uma fenda, a parte não bloqueada da frente de onda sofre um desvio, contornando esse obstáculo(fenda). Quando a fenda tem apenas alguns comprimentos de onda de largura, a frente de onda sofre um desvio, curvando-se, e se espalha na forma esférica ou circular.

A difração é um fenômeno chave que permite diferenciar ondas de partículas, ou seja, partículas em movimento não contornam obstáculos. Porém, o efeito das ondas difratarem depende do comprimento de onda ser pequeno ou grande em relação ao tamanho do obstáculo ou fenda, se as dimensões forem da ordem do comprimento de onda, a difração é notável. Mas e a difração da luz?

Segundo Bassalo (1988), o fenômeno de difração da luz foi observado pelo físico e matemático Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), no século XVII. A difração observada por Grimaldi ocorre quando a luz contorna obstáculos ou quando passa por uma fenda estreita produzindo um feixe divergente. No entanto, a explicação da difração só foi realizada por Fresnel em 1817, através da sua teoria matemática para a difração da luz baseada na hipótese ondulatória de Huygens, quando ganhou o prêmio oferecido pela Academia de Ciências de Paris (BASSALO, 1988).

Usando o princípio de Huygens vamos perceber como a luz passa por uma fenda, cuja largura (b) é da ordem de grandeza do comprimento de onda da luz (veja a figura 10, fora de escala). Vamos observar como na interferência, uma sequência de faixas claras e escuras, um pouco diferente, pois temos apenas uma fenda. O padrão de interferência observado para duas fendas era constituído por faixas iguais claras e escuras e o tamanho das fendas foi considerado de tamanho infinitesimal, ideal, de largura praticamente zero. O padrão agora da difração é composto por uma faixa clara larga no meio, de frente a fenda, depois faixas menos intensas e mais estreitas e assim sucessivamente faixas claras e escuras. Na figura 10 temos essa situação, onde o tamanho da fenda está representado pela letra b , a distância entre a fenda e o anteparo, letra L e a diferença de caminho percorrido pelas ondas, letra Δ (delta).

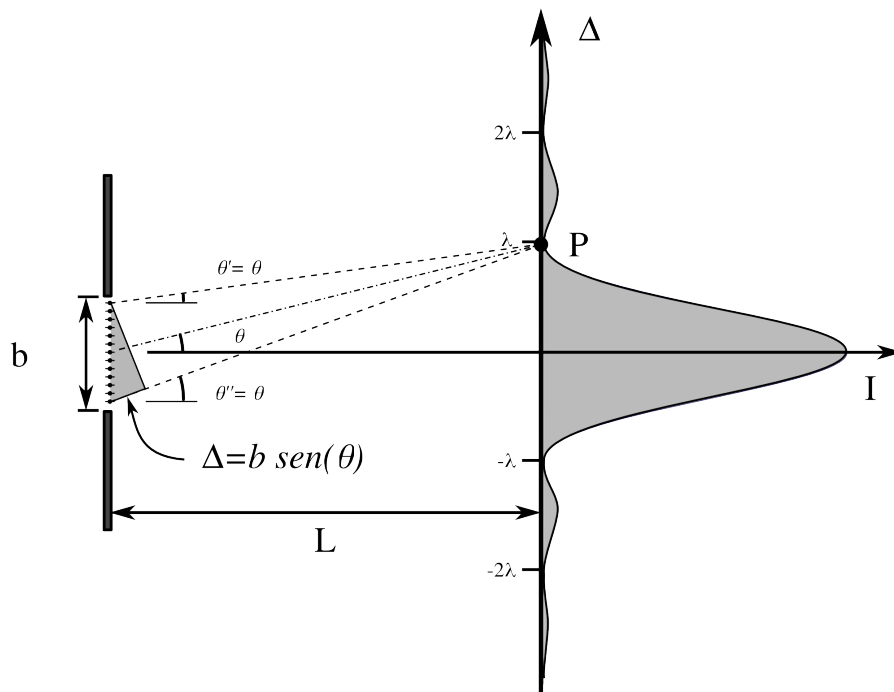


Figura 10 – Formação do máximo central de difração entre os dois primeiros mínimos.

Note que agora temos uma fenda com certa largura que vamos levar em consideração, ou seja, a fenda possui uma largura finita. O que vamos pegar é cada ponto da fenda e usar o princípio de Huygens e supor que cada ponto da fenda seja uma fonte de ondas secundárias naquele ponto e analisar a interferência.

Na verdade temos duas aproximações para tratar o problema de difração. Quando as dimensões são da ordem do comprimento de onda da luz, aí temos a difração de Fresnel, mas se o obstáculo está suficientemente longe para que possamos usar a aproximação de raios paralelos, trata-se da difração

de Fraunhofer. Nossa discussão é restrita a difração de Fraunhofer. Aqui estamos supondo que L seja muito maior que a largura da fenda ($L \gg b$), então $\theta' = \theta'' = \theta$.

O ângulo θ para o qual aparecem as regiões escuras (mínimos) no anteparo pode ser determinado por: $\Delta = b \cdot \sin(\theta) = n \cdot \lambda$, (sendo b a largura da fenda, λ o comprimento de onda da luz e $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$). A posição de um mínimo (y) é dada pela equação $y = \tan(\theta) \cdot L$ ou por $y = n \cdot \lambda \cdot L / b$ para o ângulo θ suficientemente pequeno, menor que 5° podemos fazer $\sin(\theta) \approx \tan(\theta)$, onde L é a distância da fenda ao anteparo e y é a distância do máximo central ao primeiro mínimo.

Portanto, temos como resultado uma figura que conjuga um padrão de difração e logo podemos perceber que a relação que envolve a ordem das franjas é semelhante a relação de interferência, com um detalhe sutil, para uma diferença de fase equivalente a um comprimento de onda temos agora interferência destrutiva, enquanto na interferência com duas fendas foi justamente o contrário e vice-versa. E porque essa diferença?

Os dois fenômenos são parecidos pois estamos somando ondas, mas na interferência somamos em geral duas ondas apenas, estamos olhando para as fontes individuais. Enquanto que na difração observamos as contribuições de um número infinito de ondas que estão uniformemente distribuídos em fase desde π a 2π (0° a 360°). A soma que fazemos neste caso é aplicando a integral que ao final dá um resultado inesperado, pois estamos somando infinitas contribuições, por isso a diferença na ordem das franjas. Onde a diferença de caminho equivale um comprimento de onda temos na figura de difração uma região de ausência de luz, que é a interferência destrutiva e na região iluminada uma diferença de caminho de meio comprimento de

onda, o que não era esperado. Então podemos concluir que realmente são dois fenômenos semelhantes, mas não iguais.

Se voltarmos no experimento da dupla fenda na interferência e levarmos em consideração as suas dimensões, vamos ter os dois fenômenos acontecendo ao mesmo tempo, o resultado é que alguns máximos de interferências são eliminados pelos mínimos de difração, ou seja, as franjas de interferências contidas dentro da envoltória da difração, mas no geral temos que levar em consideração os dois fenômenos acontecendo ao mesmo tempo. E se aumentarmos o número de fendas? Aí teremos uma rede ou grade de difração, cujo padrão de difração resultante é igual à interferência da fenda dupla de Young, com a diferença de que com o aumento do número de fendas os máximos tornam-se estreitos e mais intensos e entre dois máximos existe mais de um mínimo. Uma análise mais detalhada encontra-se no produto da dissertação.

O procedimento que usamos no nosso trabalho para a medida da espessura do fio de cabelo é mesmo de uma fenda estreita, que segundo o "Princípio de Babinet", o padrão de difração observado quando a onda incide sobre uma fenda é o mesmo quando a luz incide sobre um objeto que é o complemento dessa fenda.

2.2 A experimentação no ensino de física

A utilização de ambientes de experimentação no ensino de Física traz, em seu arcabouço, a questão pedagógica de forma renovada. A visão simplista de que basta colocar o aluno exposto ao ambiente de experimentação para que ele seja "iluminado", reconheça e "absorva" a construção conceitual do modelo científico padrão, não se sustenta. Há, na literatura, uma grande crítica às

atividades de laboratório como "livro de receitas", que não despertam o engajamento do estudante no "fazer ciência" (MOSKOVITZ; KELLOGG, 2011). Para Arruda, Silva e Laburú (2001), o modelo de uso de laboratórios no ensino de física deve seguir a epistemologia Kuhniana, na qual, assim como nas revoluções científicas, o aprendizado se dá pelo enfrentamento de conflitos ou paradigmas. Entretanto, a visão simplista continua fortemente arraigada na prática pedagógica. Assim, modelos rígidos de “demonstração experimental”, em que o aluno é mero expectador são por demais frequentes. Nesse sentido Araújo e Abib (2003) destacam:

Assim, apesar da pesquisa sobre essa temática revelar diferentes tendências e modalidades para o uso da experimentação, essa diversidade, ainda pouco analisada e discutida, não se explicita nos materiais de apoio aos professores. Ao contrário do desejável, a maioria dos manuais de apoio ou livros didáticos disponíveis para auxílio do trabalho dos professores consiste ainda de orientações do tipo “livro de receitas”, associadas fortemente a uma abordagem tradicional de ensino, restritas a demonstrações fechadas e a laboratórios de verificação e confirmação da teoria previamente definida, o que sem dúvida, esta muito distante das propostas atuais para um ensino de Física significativo e consistente com as finalidades do ensino no nível médio (ARAÚJO; ABIB, 2003, p. 177).

A questão que se coloca é de como articular o conteúdo programático que se pretende construir e o locus pedagógico – o laboratório de experimentação – em que se dá o processo de ensino aprendizagem. Que papel é reservado ao próprio aprendiz em seu processo de aprendizagem?

Uma luz para a compreensão destas questões pode ser obtida pela Teoria da Transposição Didática, como proposta por Yves Chevallard. No

cerne do referencial teórico proposto por esse autor está a afirmação de que o fenômeno didático não pode ser compreendido como uma relação bipolar entre o aluno e o professor (CHEVALLARD, 1988 apud LEITÃO; PINTO, 2014). Chevallard propõe que o conhecimento em si é um polo não-neutro presente no fenômeno didático, que não pode ser ignorado, sob pena de não ser possível articular e explicar a maior parte do processo pedagógico. Segundo Chevallard (1988), o conhecimento presente na relação didática não é o mesmo do especialista. Na Física, o conhecimento a ser ensinado não é a Física pronta e acabada dos Físicos. A principal característica que distingue a relação didática das outras relações que podem ser estabelecidas com o conhecimento, como enfatizado no contexto da teoria proposta por Chevallard, é o conceito de intenção didática. De forma ingênua, o conceito se refere simplesmente à intenção de se ensinar algo. Neste sentido, o processo de transposição didática se refere à transformação do conhecimento a ensinar em objeto de ensino. O termo Transposição Didática tem sido motivo de uma diversidade de interpretações, como também de controvérsias. Dentro de uma visão meramente tecnicista, ela é compreendida como movimento (transposição) de algumas das habilidades necessárias na esfera profissional para o ambiente acadêmico, em um domínio particular de conhecimento. Nesta formulação, reduz-se o termo para um tipo de “análise de lacunas” entre o conhecimento de que precisa um profissional no local de trabalho e o que realmente é conhecido pelo aluno em formação. O ponto central seria identificar o que é necessário para os alunos aprenderem, para tornar o aprendizado acadêmico mais relevante.

E o que se espera do ensino de Física atualmente? De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) espera-se

que:

(...) o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional (BRASIL, 2000, p. 7).

A nossa proposta de utilização de computadores como ferramenta auxiliar em atividades de demonstração justifica-se pelo seu diferencial, destacando-se a possibilidade de facilitar a compreensão dos fenômenos físicos estudados. Explorar as potencialidades que esta ferramenta possibilita foi também o nosso grande interesse. Segundo Yamamoto e Barbeta (2001):

As possibilidades do uso do computador como ferramenta pedagógica já vem sendo discutidas há algum tempo. Entre estas possibilidades, a simulação de experiências de Física e a que tem sido mais explorada. As simulações permitem o estudo de condições que na prática seriam difíceis e, as vezes, até mesmo inviáveis de serem realizadas em um laboratório didático. A utilização de programas de simulação possibilita ainda uma melhor compreensão de certos fenômenos físicos na medida em que torna possível a inclusão de elementos gráficos e de animação em um mesmo ambiente. Isto, aliado ao interesse dos estudantes pelo microcomputador, pode a princípio tornar mais eficiente e agradável o processo de aprendizagem (YAMAMOTO; BARBETA, 2001, p. 215).

Hoje o mundo é dominado pela tecnologia que se modifica rapidamente. Acreditamos que os alunos devam ser ensinados a buscar informações e não memorizá-las, e o uso do computador pode ajudar e ser um elemento motivador na aquisição do conhecimento por estar tão presente na vida dos estudantes.

Acreditamos que a implementação de atividades experimentais nas aulas de física contribui para uma aprendizagem mais eficaz, promovendo a participação ativa dos alunos em situações que provocam discussões em pequenos ou grandes grupos, a estruturação de ideias e de conceitos. A experimentação, por si só, é um componente que desperta o interesse dos estudantes, contribuindo para a aquisição da aprendizagem na medida em que torna o ensino mais sólido.

Para provocar as mudanças necessárias e buscar um ensino mais atraente e concreto, embasamos nosso trabalho em algumas teorias de aprendizagem, que serão detalhadas no capítulo que se segue, onde temos uma fundamentação teórico pedagógica que justifica todo o trabalho.

2.3 As Teorias de Aprendizagem

Este trabalho tem como proposta buscar novas alternativas e estratégias de atividades baseadas nas teorias construtivistas. Fundamenta-se, portanto, nos trabalhos de Vygotsky e na aprendizagem significativa de Ausubel. Entretanto, em seu aspecto metodológico, o presente trabalho é uma modificação das Aulas de Demonstração Interativa, proposta por [Sokoloff e Thornton \(1997\)](#).

Como uma proposta construtivista, a presente proposta busca con-

stantemente a interação professor/aluno, aluno/aluno e aluno/conhecimento científico para que esses personagens consigam construir o conhecimento. Nessa proposta procuramos trabalhar na sala de aula, em todas as etapas, com duplas ou grupos maiores, seguindo a teoria construtivista de Vygotsky, onde o desenvolvimento e a aprendizagem ocorrem na perspectiva de fazer junto, ou seja, do compartilhar. Para Vygotsky, a aprendizagem provoca o desenvolvimento, aí ele traz um conceito interessante que é a zona proximal, que é a capacidade de alcançar resultados junto com o outro.

Afirmamos que em colaboração a criança sempre pode fazer mais do que sozinha”. No entanto, cabe acrescentar: não infinitamente mais, porém só em determinados limites, rigorosamente determinados pelo estado do seu desenvolvimento e pelas suas potencialidades intelectuais. Em colaboração, a criança se revela mais forte e mais inteligente que trabalhando sozinha, projeta-se ao nível das dificuldades intelectuais que ela resolve, mas sempre existe uma distância rigorosamente determinada por lei, que condiciona a divergência entre a sua inteligência ocupada no trabalho que ela realiza sozinha e a sua inteligência no trabalho em colaboração. [...] A possibilidade maior ou menor de que a criança passe do que sabe para o que sabe fazer em colaboração é o sintoma mais sensível que caracteriza a dinâmica do desenvolvimento e o êxito da criança. Tal possibilidade coincide perfeitamente com sua zona de desenvolvimento imediato. (VYGOTSKY, 2007, p. 329).

O professor exerce o papel de mediador na aprendizagem do aluno, através de trabalhos em grupos e até mesmo na organização do espaço escolar. Para Vygotsky, o destaque dado ao professor é o de agente mais capaz nesse processo a ser imitado. Ainda segundo Vygotsky:

É preciso que a Escola e seus educadores atentem que não têm como função ensinar aquilo que o aluno pode aprender por si mesmo e sim, potencializar o processo de aprendizagem do estudante. A função da Escola é fazer com que os conceitos espontâneos, informais, que os educandos adquirem na convivência social, evoluam para o nível dos conceitos científicos, sistemáticos e formais, adquiridos pelo ensino. Eis aí o papel mediador do docente (VYGOTSKY, 2001, p. 76).

O desenvolvimento da nossa sequência didática em todas as etapas procurou trabalhar a teoria Vygotskyana, onde o experimento é tido como um elemento motivador, gerador de desafios, promover interações sociais tendo com o foco o conteúdo e um apoio para a sua compreensão, desde que, segundo Gaspar e Monteiro (2005), o professor o torne significativo.

Esse trabalho procura desenvolver no aluno uma atitude crítica e reflexiva em relação ao conteúdo trabalhado e para isso foi trabalhada a teoria da Aprendizagem significativa, que segundo Moreira (2003a), é uma vertente mais específica do construtivismo, e ainda reforça:

O ensino deve buscar a facilitação dessa aprendizagem e, aí, entra a cena o princípio da interação social e do questionamento: a aprendizagem da nova linguagem é mediada pelo intercâmbio de significados, pela clarificação de significados, enfim, pela negociação de significados que é feita através da linguagem humana (MOREIRA, 2003a, p. 10).

Nesse sentido, desenvolvemos um material que é a sequência didática para trabalharmos difração e interferência da luz com os alunos de forma diferente do tradicional, buscando a aprendizagem significativa, mas sem perder de vista o contexto social que os estudantes estão inseridos. Moreira destaca que:

A aprendizagem significativa se caracteriza basicamente pela interação entre novos conhecimentos e aqueles especificamente relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Para isso, em sala de aula, o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender e os materiais educativos devem ser potencialmente significativos. Contudo, tais condições são necessárias, mas não suficientes. É preciso levar em conta que a aprendizagem não pode ser pensada isoladamente de outros lugares comuns do fenômeno educativo como o currículo, o ensino e o meio social (MOREIRA, 2003a, p. 14).

Na perspectiva de Ausubel, um dos fatores importantes a ser considerado no processo ensino aprendizagem é o seu conhecimento prévio, o que o aluno traz em sua bagagem. Para Ausubel, Novak e Hanesian (1980), organizadores prévios verdadeiros são aqueles destinados a facilitar a aprendizagem significativa de tópicos específicos, ou série de ideias estreitamente relacionadas.

A ligação dos conceitos espontâneos, das crenças com o novo conceito, é que gera a aprendizagem significativa. As condições para que ocorra a aprendizagem significativa são: o material seja potencialmente significativo e o aprendiz manifeste uma disposição para relacionar, de maneira substantiva e não arbitrária, o novo material, potencialmente significativo, à sua estrutura cognitiva MOREIRA (2009). Ainda segundo Moreira:

Por último, cabe reiterar que organizadores prévios são materiais instrucionais utilizados antes dos materiais de aprendizagem em si, sempre em um nível mais elevado de abstração, generalidade, inclusividade. Podem ser um enunciado, um parágrafo, uma pergunta, uma demonstração, um filme, uma simulação e até mesmo uma aula que funcione como pseudo-organizador para toda uma unidade de estudo ou, ainda, um capítulo que se proponha a

facilitar a aprendizagem de vários outros em um livro. Não é a forma que importa, mas sim a função dessa estratégia instrucional chamada organizador prévio ([MOREIRA, 2009](#), p. 37).

No próximo item apresentamos o conceito da ADI proposto por Sokoloff.

2.4 Aulas de Demonstração Interativa

Em seu aspecto metodológico, o presente trabalho está baseado na metodologia de aulas interativas proposta por [Sokoloff \(2012\)](#). A principal característica dessa proposta consiste na aplicação da metodologia de Aula de Demonstração Interativa (ADI), visando criar um ambiente de questionamento das concepções dos estudantes. Em linhas gerais, essa metodologia consiste em levantar questionamentos para que os alunos façam previsões de um experimento, antes de realizá-lo, confrontando as suas crenças com as observações reais.

Por mais de duas décadas, Sokoloff realizou pesquisa sobre a compreensão da física pelos alunos, e utilizou os resultados da pesquisa em ensino de física para desenvolver a metodologia de aprendizagem ativa através de aulas interativas. Ao longo de muitos anos de desenvolvimento e avaliação de currículo e estudando como os alunos aprendem, [Sokoloff e Thornton \(1990\)](#) identificaram uma série de técnicas eficazes presentes na ADI, com por exemplo: começar com o que o específico e depois passar para o geral, manter constantemente os alunos envolvidos, favorecer a colaboração entre os pares, vincular abstrações ao concreto, fazer uso adequado da tecnologia e deixar o mundo físico ser a autoridade.

Diferentemente, outras abordagens procuram descrever inovações pedagógicas e metodológicas, bem como focam a investigação na evolução conceitual do aluno no processo de ensino-aprendizagem. Sokoloff (2012) descreve a utilização de montagens experimentais para o ensino de diferentes tópicos de ótica, dentro de uma proposta metodológica denominada Aula de Demonstração Interativa (ADI).

Essa abordagem tem como característica principal desenvolver uma estratégia problematizadora, em que o aluno é desafiado a antecipar o resultado de um experimento antes de observá-lo.

Essa metodologia tem a grande vantagem de induzir o aluno ao processo de investigação do fenômeno, de reflexão conceitual, ao contrário de simplesmente apresentá-lo diante de um conhecimento estático, pré-formulado. Na tabela 1, apresentamos a proposta ADI sintetizada.

Tabela 1 – Metodologia ADI em oito passos (Sokoloff, 2012).

1	Introdução	Apresentação da temática do tópico pelo professor, com uma descrição detalhada do experimento de demonstração, sem a realização do experimento.
2	Registros das previsões iniciais	Apresentação da temática do tópico pelo professor, com uma descrição detalhada do experimento de demonstração, sem a realização do experimento.
3	Discussão em grupo	Divididos em pequenos grupos, os alunos comparam suas diferentes previsões sobre o experimento a ser realizado.

Continua na próxima página ...

Tabela1 – Continuação da página anterior.

4	Socialização	O professor apresenta,,resumidamente, as previsões dos alunos à sala, sem interferir no,raciocínio dos alunos.
5	Registro final	Os alunos realizam o,registro final de suas previsões em uma nova Ficha de Previsão, a partir da discussão realizada.
6	Demonstração	O professor realiza a,demonstração detalhando as medidas experimentais realizadas. A, demonstração deve ser repetida de acordo com o interesse dos alunos em elucidar os diferentes aspectos da questão.
7	Discussão dos resultados	Os alunos são convidados,a descrever o que foi observado, analisar e discutir os resultados,no contexto do experimento realizado. O aluno deve preencher uma,Ficha de Resultado de Demonstração, com as suas observações,sobre a demonstração experimental.
8	Aplicação	O professor discute,situações análogas e aplicações da demonstração realizada em,diferentes configurações experimentais e contextos de aplicação.

Diferentemente da abordagem tradicional em que o professor é o detentor do conhecimento, na metodologia ADI o aluno é o protagonista. Nesta metodologia, os conhecimentos prévios dos alunos são provocados, através de questões que orientam o processo educacional. Os alunos são

chamados a comparar suas crenças com suas próprias observações em um experimento real, num trabalho colaborativo em grupos. Ao contrário das aulas expositivas da abordagem tradicional, na ADI é fundamental a utilização de aulas de laboratórios.

Nesse contexto, essa metodologia prevê justamente mudanças de paradigmas e de comportamentos, tanto do professor quanto do aluno. O aluno tem oportunidade de comparar suas previsões com as observações através do experimento, o professor exerce o papel de orientador da aprendizagem, as atividades em grupos são incentivadas para haver momentos de discussão com seus pares e todo o diálogo ocorre dos resultados do experimento. Os alunos constroem seus conhecimentos, desenvolvem sua habilidade de raciocínio a partir das observações da prática.

Para a atividade optamos por não trabalhar a proposta ADI na íntegra e sim a sua essência, então fizemos uma adaptação, porque a sequência didática possui várias etapas e optamos por colocar o aluno a realizar o experimento e observá-lo sob orientação do professor, em vez dele simplesmente assistir a demonstração feita pelo professor, promovendo ao nosso entendimento uma maior interação aluno/aluno e aluno/professor. O questionário da atividade se encontra no apêndice A deste trabalho.

3 METODOLOGIA

Para a metodologia, e seguindo o referencial teórico, procuramos fazer uso ao máximo de atividades experimentais e da simulação virtual no computador. O ambiente virtual serviu como organizador prévio para dar suporte ao entendimento dos fenômenos da Interferência e Difração nos experimentos reais, a fim de tornar o aprendizado o mais significativo possível. Todas as questões das atividades estão no anexo deste trabalho.

3.1 A escola e os participantes

O trabalho foi realizado na escola estadual Miguel Rogana, escola pública da cidade de Campo Belo-MG, onde atualmente leciono. Esta escola não possui laboratórios para o ensino das ciências da natureza. Os experimentos, com exceção da simulação virtual, que foi realizado no laboratório de informática, foram executados na sala de aula comum. A escola possui em torno de 700 alunos, 13 salas de aulas e oferece ensino fundamental e ensino médio, distribuídos entre os turnos matutino e vespertino. Segundo dados do Inep (2013), a escola está classificada com a nota técnica 4 no Indicador de Nível Socioeconômico (INSE) - a renda familiar mensal está entre 1 e 2 salários-mínimos; o pai, a mãe ou responsáveis, completaram o ensino fundamental, tendo concluído ou não o ensino médio, mas não cursaram o ensino superior.

A escola está inserida num contexto social frágil: é uma escola de periferia, na maior parte dos casos com famílias desestruturadas; a frequência dos alunos oscila muito durante a semana; o material didático é doado pelo

governo federal, e os alunos não têm o hábito de levá-lo para as aulas; e além disto os alunos não têm o hábito de fazer as tarefas de casa, e principalmente, o de estudar para as avaliações.

Em geral, os estudantes são indisciplinados, inseguros, carentes de afeto, com baixa autoestima, e se sentem prejudicados socialmente. Os estudantes ao concluírem o ensino médio não têm muitas perspectivas sociais e econômicas, o que leva a maioria a não participar de avaliações externas como vestibular, Enem e outros processos seletivos. Apesar deste contexto, a direção da escola é aberta para novos projetos e apoiou o trabalho. Os professores e alunos apoiaram a ideia e colaboraram para a execução deste projeto.

O trabalho teve como foco, alunos da 2^a Série do ensino médio pelo fato do tema fazer parte do currículo dessa série, portanto, configurando a relação com o tema da pesquisa proposta. O número de aulas semanais para a disciplina é reduzido, apenas duas aulas de física.

O número de alunos participantes variou muito em cada etapa da sequência, como será visto em seguida, devido as grandes oscilações na frequência dos alunos.

3.2 Desenvolvimento da sequência didática

Para a investigação educacional foi desenvolvida uma sequência didática para o ensino-aprendizagem do tema difração e interferência da luz. Em sua primeira etapa, a Sequência Didática utiliza uma simulação computacional para a construção prévia dos conceitos de ondas. Nas etapas seguintes, a Sequência Didática prevê a aplicação da metodologia ADI a

partir de uma atividade experimental problematizadora. Para tanto, foi desenvolvido um protótipo experimental (Figura 11) que permite a observação experimental do fenômeno de interferência e difração.

Na presente proposta, foi utilizada uma metodologia mais flexível do que a ADI original, pois colocamos o aluno para realizar o experimento em vez de simplesmente assistir a demonstração realizada pelo professor. Pode-se resumir a estratégia assim: os alunos fazem previsões acerca do experimento, depois realizam e observam o experimento, posteriormente, discutem entre os pares e comparam os resultados com as suas observações.

O protótipo experimental permite a observação da difração da luz em um fio de cabelo e a discussão dos conceitos envolvidos na abordagem. Propõe-se uma estratégia de transposição didática [Chevallard \(1988\)](#) que visa o desenvolvimento do questionamento conceitual pelo aluno.

Vamos detalhar as três etapas utilizadas como estratégia para a transposição didática adotada no tópico seguinte. Em todas elas a aplicação foi realizada em grupos.

3.3 Estrutura da Sequência Didática

Apresentamos na tabela 2 a sequência didática composta de três etapas e o seu detalhamento.

Tabela 2 – Descrição das etapas da sequência didática interferência e difração

	Objetivos educacionais	Conteúdo	Metodologia	Recursos
Etapa 1 — Aulas 1 e 2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construir o conceito de ondas 2. Compreender os fenômenos de difração e interferência 	<p>Conceitos iniciais de ondas, interferência e difração</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aula dialogada • Trabalho em grupo 	<p>Simulador PhET, questionário</p>

Continua na próxima página ...

Tabela 2 – Continuação da página anterior.

	Objetivos educacionais	Conteúdo	Metodologia	Recursos
Etapa 2 — Aulas 3 e 4	3. Estudar a natureza da luz em seu aspecto ondulatório como evidenciado pela difração	Difração em um fio de cabelo	<ul style="list-style-type: none"> • Aula dialogada • Trabalho em grupo 	Aparato experimental, questionário

Continua na próxima página ...

Tabela 2 – Continuação da página anterior.

	Objetivos educacionais	Conteúdo	Metodologia	Recursos
Etapa 3 — Aulas 5 a 7	<ol style="list-style-type: none"> 4. Incentivar a aprendizagem compartilhada 5. Compreender a superposição de ondas 6. Demonstrar a equação do padrão de interferência da difração 7. Determinar experimentalmente a espessura de um cabelo 	Superposição de ondas, interferência e difração	<ul style="list-style-type: none"> • Aula expositiva • Aula dialogada • Trabalho em grupo 	Ondas impressas na transparência, aparato experimental, questionário

Nos próximos tópicos, apresentamos uma pequena discussão sobre cada uma das etapas da sequência didática e sua aplicação.

3.3.1 Primeira Etapa – Roteiro utilizando o simulador PhET

Essa etapa da Sequência Didática é constituída por um roteiro contendo dezesseis questionamentos acerca da propagação de ondas num determinado meio, no caso específico água e propagação da luz. A simulação permite observar os principais elementos de uma onda, suas características, verificar a relação matemática entre comprimento de onda, período, frequência e velocidade de propagação de uma onda. Nessa etapa o objetivo é a construção do conceito de ondas, interferência e difração da luz, a fim de discutir situações físicas diferentes, mas que possuem o mesmo conceito. É uma atividade investigativa. A estratégia para a transposição didática foi a utilização de uma ferramenta computacional (PhET) disponível em <<https://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-interference>>. Tempo estimado para a tarefa: 2 aulas de 50 minutos.

Essa etapa também coloca o aluno diante das possibilidades de uso de computadores e programas específicos para as atividades experimentais de simulação para enriquecer o processo de ensino e aprendizagem.

Todas as atividades foram realizadas em grupos, sendo disponibilizado para cada grupo um computador. Participaram da atividade 23 alunos, distribuídos em 11 grupos, sendo um grupo ficando com três alunos e os demais com dois alunos. O professor desempenhou o papel de mediador em todo o processo. Para o aluno, não foi necessário pré-requisito, pois todo o conceito de ondas é construído na sequência com a mediação do professor.

A avaliação dos alunos se deu através da análise das respostas ao

questionário da sequência didática que foi recolhida pelo professor ao final dessa etapa e pela observação direta do desenvolvimento da atividade.

3.3.2 Segunda etapa – Questionamento e previsão de resultado

Nesta etapa composta de duas aulas de 50 minutos, participaram 22 alunos, distribuídos em 5 grupos. O objetivo foi estudar o comportamento da luz e sua interação com corpos opacos. Foi apresentado aos estudantes o protótipo experimental (Figura 11), e numa abordagem experimental problematizadora, os alunos seguindo o roteiro começaram a realizar a atividade. Baseada na metodologia ADI adaptada, da seguinte forma: 1) os alunos fizeram previsões sobre o experimento com o fio de cabelo e depois com um fio de cobre; 2) a seguir eles realizaram o experimento; 3) posteriormente, discutiram e compararam os resultados do experimento com as suas previsões.

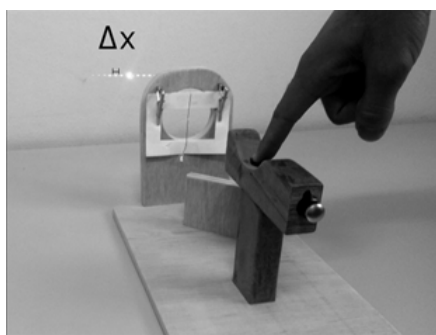


Figura 11 – Protótipo experimental para observação da difração em fio de cabelo.

A estratégia dessa etapa foi inserir o aluno no contexto experimental, para tornar a aprendizagem em óptica ondulatória diferente da tradicional e gerar um conflito cognitivo no aluno, possibilitando a eles comparar o seu conhecimento prévio com a situação real. Ao todo foram utilizadas seis

questões.

3.3.3 Terceira Etapa – Desafio experimental

Essa etapa foi dividida em quatro atividades e participaram 16 alunos em 5 grupos, conforme segue nos tópicos seguintes. Os objetivos foram entender a superposição de ondas em fase e oposição de fase, incentivar a colaboração entre grupos e determinar experimentalmente a medida da espessura de um fio de cabelo. Tempo gasto para a etapa 2 aulas de 50 minutos.

3.3.3.1 Atividade 1 – Difração e interferência da luz (Ondas em fase)

Nessa etapa, os alunos também em grupos, foram desafiados a responder as seguintes perguntas:

- 1) O que acontece quando duas ondas se encontram?
- 2) O que você observa se as ondas estão em fase, ou seja, se a crista da primeira onda coincide com a crista da segunda onda?

Para a realização da atividade, foi utilizada uma folha quadriculada e duas transparências para cada aluno, para a descrição e verificação da superposição.

A atividade tinha como objetivos entender a superposição de ondas em fase e incentivar a aprendizagem compartilhada através da manipulação de ondas senoidais impressas em transparências. Os estudantes representaram a forma da onda resultante por eles encontrada no terceiro quadro da folha, conforme mostra a figura 12.

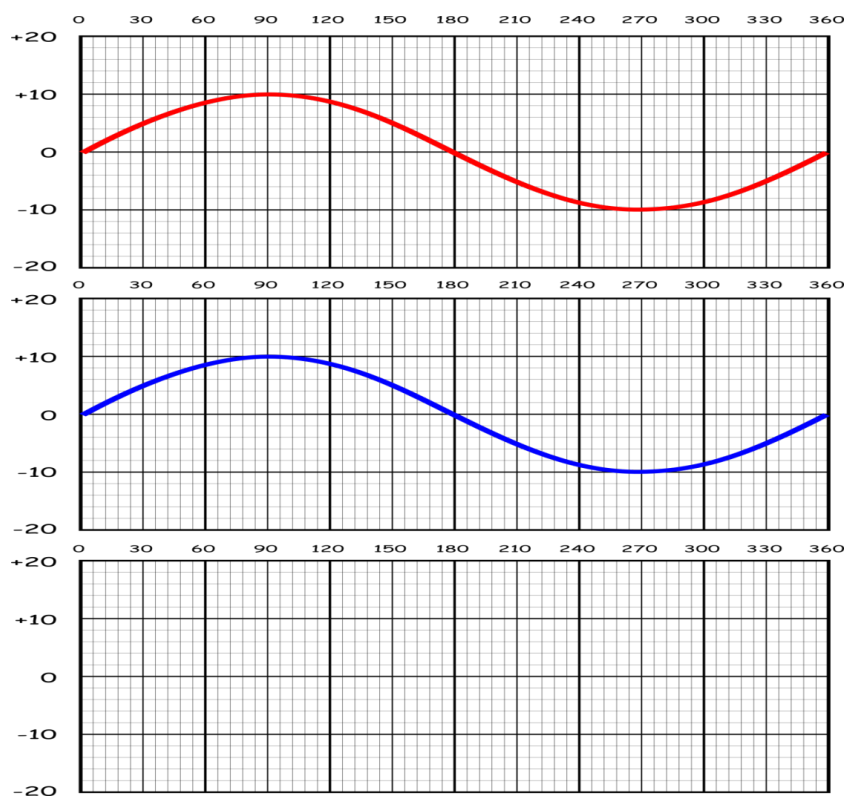


Figura 12 – Folha quadriculada mostrando ondas em fase.

3.3.3.2 Atividade 2 – Difração e interferência da luz (Ondas fora de fase)

Nessa atividade os alunos também foram desafiados a responder as mesmas perguntas da atividade anterior, porém com ondas fora de fase. Para a realização da atividade, foi também utilizada a uma folha quadriculada.

A atividade tinha os mesmos objetivos da anterior, exceto que a superposição era entre ondas com inversão de fase. Os estudantes representaram a forma da onda resultante por eles encontrada no terceiro quadro da folha, conforme mostra a figura 13.

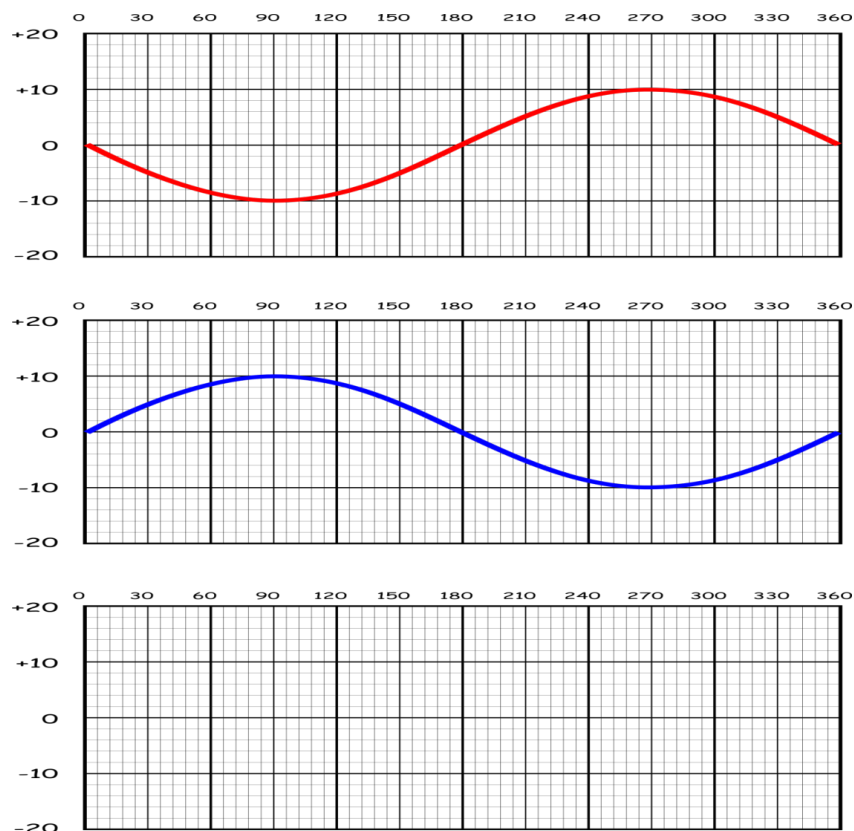


Figura 13 – Folha quadriculada mostrando ondas fora de fase.

Ao final da atividade, o professor fez um fechamento da atividade, explorando as dificuldades dos alunos.

3.3.3.3 Atividade 3 – Difração e interferência da luz

A atividade três permitiu aos alunos fazer um “link” com a atividade de simulação da primeira etapa, na tentativa de explicar a formação de regiões claras e escuras, através da superposição de ondas, observadas na simulação.

Ao final da atividade foi feita uma conclusão pelo professor, com explicação teórica de todas as atividades 1, 2 e 3, envolvendo a superposição de ondas. O tempo gasto com todas as três atividades, foi uma aula de 50 minutos. No tópico seguinte vamos apresentar o desafio da medição do fio de cabelo de um colega.

3.3.3.4 Atividade 4 – Desafio experimental de se medir a espessura de um fio de cabelo

A atividade permite colocar o aluno diante de situações onde ele deva fazer medidas, usar adequadamente os instrumentos de medidas e trabalhar com possíveis erros e/ou adequação das medidas. Além disso, a utilização da experimentação quantitativa permite tornar mais concretos os conceitos abordados, possibilitando ainda a realização de atividades interdisciplinares. Convém destacar ainda que, em virtude de suas características, a experimentação com ênfase nos aspectos quantitativos também permite estimular a criatividade e aproximar professores e alunos, fato que pode tornar as aulas mais interessantes e gerar grande entusiasmo e participação nos alunos, proporcionando maior estímulo e interesse pelo estudo dos conteúdos de Física que são abordados [Araújo e Abib \(2003\)](#).

Para realização desta atividade os alunos, totalizando 16, foram distribuídos em 5 grupos, e cada grupo recebeu um Kit experimental (figura 11), desenvolvido como parte do produto educacional, composto de: a) Uma caneta laser verde de comprimento de onda conhecido, b) Uma folha de papel em branco e uma milimetrada. c) O Aparato experimental (figura 11), d) Fita adesiva. e) Uma trena ou fita métrica.

Nesta atividade, o professor foi somente um guia e aos alunos foi

dado maior autonomia no processo. O tempo estimado para a atividade foi uma aula de 50 minutos. A equação usada pelos alunos para o cálculo da espessura do fio, necessária para a realização desta atividade foi deduzida numa aula anterior de 50 minutos, logo após a atividade 3.

Após o término da Sequência didática, os alunos responderam a um questionário para verificar a percepção e a importância da atividade para eles. O questionário foi composto por 28 perguntas distribuídas entre 7 eixos:

- 1) Relevância da Atividade;
- 2) Reflexão Crítica;
- 3) Interação entre os Pares;
- 4) Apoio do Professor;
- 5) Apoio dos Colegas;
- 6) Compreensão;
- 7) Metodologia.

Analisamos e discutimos os pontos considerados mais relevantes da avaliação para a análise de dados. O questionário completo do material está no apêndice B deste trabalho.

A seguir apresentaremos as características do local e dos participantes envolvidos no presente trabalho.

3.4 Procedimentos para a coleta de dados

A coleta de dados foi realizada de forma detalhada através das respostas e observações feitas pelo professor pesquisador durante o decorrer das atividades em grupos.

A primeira etapa do trabalho, utilizando o **simulador PhET**, foi desenvolvida no laboratório de informática, o qual possuía cerca 8 CPUs num total de 16 telas, sendo uma tela para cada aluno (processamento compartilhado), porém apenas 3 estavam funcionando. Desta forma, não usamos todos os computadores disponíveis na escola, pois a maioria deles estava com defeitos e sem manutenção. Talvez pelo mal uso dos equipamentos, seja necessário capacitar os profissionais envolvidos no ambiente escolar, conforme destaca [Araújo e Abib \(2003\)](#) em seu artigo:

(...) Entretanto, acredita-se que com a crescente informatização das escolas verificadas nos últimos anos, com a melhor capacitação dos professores e com o conseqüente aumento da demanda é possível que em um futuro próximo esta área passe a ser mais frequentemente abordada, com a publicação de artigos que sugiram aplicações educacionais para os computadores ali instalados ([ARAÚJO; ABIB, 2003](#), p. 189).

Com muito esforço junto aos técnicos da Superintendência Regional de Ensino da cidade, conseguimos fazer funcionar mais uma CPU, com duas telas. Diante da falta de computadores pedi ajuda ao meu orientador e à direção da escola para que intervissem com o empréstimo de Notebooks de uso pessoal. Portanto, no trabalho foram utilizados quatro Notebooks (um aparelho da escola, um do vice-diretor, um do professor e pesquisador Luiz,

um aparelho da UFLA-MG), quatro CPUs (sete telas, pois uma não estava funcionando), totalizando 10 grupos de dois alunos e 1 grupo com 3 alunos.

Nessa etapa 1, os dados foram coletados do questionário respondido pelos alunos, utilizando o simulador virtual do PhET, para posterior análise qualitativa dos dados.

Para a segunda etapa foi utilizado o aparato experimental construído e de baixo custo mostrado na figura 11. A montagem do aparato utiliza um laser de diodo verde, com comprimento de onda $\lambda = (530 \pm 10)nm$, disponível em qualquer loja de importados.

O laser é direcionado para um suporte onde se prende um fio de cabelo ou outro objeto qualquer de pequenas dimensões. Todo o material do aparato é confeccionado em retalhos de madeira, encontrada em qualquer marcenaria. O que se observa é que a luz do laser, ao atingir o fio de cabelo, é espalhada criando assim um padrão de difração e interferência num anteparo, que pode ser uma parede ou uma tela. O aparato permite a medição da espessura de pequenos objetos. Na tela deve-se medir cuidadosamente a distância Δx entre as faixas escuras a partir do centro brilhante do laser, vide figura 11. Para verificar o funcionamento do equipamento pode-se usar um fio fino de metal de diâmetro conhecido para a demonstração. Foi previsto no aparato experimental (Figura 14), um suporte de madeira que permite a observação de difração em *Compact Disc* (CD e DVD), mas que não foi usado no nosso trabalho.



Figura 14 – Aparato experimental para observação do fenômeno da difração.

Mais orientação dessa possibilidade encontra-se no produto da dissertação.

As possibilidades de utilização desse aparato experimental são a observação da difração em orifícios circulares, em fios, em fendas e a determinação do espaçamento entre as trilhas dos discos, conforme proposto em [Catelli e Vicenzi \(2004\)](#).

A segunda etapa chamada de **questionamento e previsão de resultados** com o aparato experimental (figura 11) foi desenvolvida em sala de aula e participaram cerca de 22 alunos distribuídos em cinco grupos. Cada grupo dispunha de um kit experimental. A coleta dos dados foi feita através das respostas dos alunos aos questionamentos da sequência didática em folha própria e da observação direta da atividade em um diário de campo e gravação de áudio.

A terceira etapa intitulada de **desafio experimental** foi dividida em duas partes: Na primeira, utilizando as transparências (figuras 12 e 13), participaram 22 alunos divididos em onze grupos. Na segunda parte, que era o desafio de medir a espessura de um fio de cabelo, participaram 16 alunos distribuídos em cinco grupos. Houve uma variação na frequência dos alunos,

principalmente na última etapa, pois estava sendo realizada uma gincana nos dois últimos horários na escola.

Foram feitas observações diretas durante a aplicação do trabalho, anotações em diário de campo e a observação dos registros feitos pelos alunos em folha própria das tarefas. Foi realizada a gravação de áudio, mas não foi feita nenhuma transcrição, pois o áudio ficou muito ruim para a coleta de dados.

Ao final das atividades, além dos dados qualitativos, foi aplicado um questionário da percepção dos alunos a respeito da importância da atividade e uma pequena entrevista com os alunos. A sequência e o questionário de percepção dos alunos estão no apêndice desse trabalho. Participaram também, para a coleta de dados quantitativos, outros professores da mesma turma, assim sendo, o professor de Geografia, o de Língua Portuguesa, o de Biologia e o professor de Matemática.

Todo o material da sequência didática é composto de 3 etapas, num total de 7 aulas de 50 minutos, sendo 2 aulas para a etapa 1, 2 aulas para a etapa 2 e 3 aulas para a etapa 3, incluindo a aula para a demonstração da equação utilizada no desafio da medição do fio de cabelo. Destaca-se aqui que em todas as etapas os alunos trabalharam em grupos maiores e menores, a fim de tornar o material potencialmente significativo, seguindo orientações do nosso referencial teórico.

3.5 Procedimentos para a análise de dados

Em toda a análise qualitativa da SD foi realizada com o uso da técnica inspirada na Análise de Conteúdo proposto por [Bardin \(1977\)](#) e

Franco (2012).

A coleta de dados gerada permitiu fazer a análise de duas formas bastante distintas. Uma qualitativa, gerada através das respostas dos estudantes ao questionário da Sequência Didática, registros esses para a investigação dos aspectos cognitivos ou concepções prévias e sua evolução. E a outra quantitativa, por meio do teste investigativo da percepção dos alunos, onde eles puderam avaliar a aplicação da atividade.

Esses dados foram tabulados e analisados em uma abordagem estatística descritiva, com o objetivo de identificar eventuais correlações entre a percepção expressa no questionário e as características dos estudantes designadas pelo professor pesquisador. Mais detalhes no tópico da análise quantitativa.

3.5.1 A análise qualitativa

A análise e verificação da construção dos conceitos e a avaliação das interações sociais proporcionadas e a reflexão dos alunos referentes à sequência didática como um todo, foi realizada sob o aspecto de uma pesquisa qualitativa, onde o pesquisador está imerso no fenômeno de interesse (MOR-EIRA, 2003b). Ele anota, ouve, observa, registra, documenta, interpreta e busca significados para dar credibilidade a pesquisa. É importante destacar que os dados construídos e coletados são predominantemente descritivos por Lüdke e André (1986). Outro aspecto a ser considerado é que, na pesquisa qualitativa, "a análise de dados tende a seguir um processo indutivo" (LÜDKE; ANDRÉ, 1986, p. 13).

Em nossa pesquisa, tivemos várias mensagens, orais, escritas e até gestuais, que foram surgindo durante a aplicação das atividades. Franco

(2012), reforça que essas mensagens podem ser "verbal (oral ou escrita), gestual, silenciosa, figurativa, documental ou diretamente provocada".

No presente trabalho, tivemos a preocupação em ter um olhar crítico diante dos dados para poder fazer inferências atribuindo-lhes significados e para isso seguimos as etapas apontadas por [Bardin \(1977\)](#) e [Franco \(2012\)](#):

- a) Pré-análise: Considerada uma fase de organização dos dados com o objetivo de construir o corpus da pesquisa. "O corpus e o conjunto de documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos ([BARDIN, 1977](#), p. 96).

A organização dos nossos dados foi uma tarefa difícil, devido ao grande volume de informações. Então, partimos para uma "leitura flutuante" onde tivemos o primeiro contato com o material, buscando as percepções contidas nele, o que nos forneceu as primeiras impressões sobre possíveis interpretações dos materiais analisados ([FRANCO, 2012](#), p. 52).

- b) Exploração do material: fase em que o corpus estabelecido deverá ser estudado mais profundamente, com o objetivo de estabelecer as Unidades de Registro e Unidades de Contexto. "Os resultados brutos são tratados de maneira a serem significativos (falantes) e válidos"([BARDIN, 1977](#), p. 101).

Nessa etapa, fizemos uma releitura de todos os documentos, analisando cada mensagem, buscando congruências e diferenças entre elas. Retornamos aos dados para fazer uma releitura, dessa vez mais profunda, e analisar com mais detalhes cada uma das mensagens dos estudantes.

c) Tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação. Seguimos os princípios apresentados por [Bardin \(1977\)](#) e [Franco \(2012\)](#): exclusão mútua; homogeneidade; pertinência; objetividade e fidelidade, e produtividade.

- Exclusão mútua: “Esta condição estipula que cada elemento não pode existir em mais de uma divisão” ([BARDIN, 1977](#), p. 120). Organizamos nossos dados de forma que não se encaixasse em outras categorias além da que pertence.
- Homogeneidade: “O princípio de exclusão mutua depende da homogeneidade das categorias. Um único princípio de classificação deve governar a sua organização” ([BARDIN, 1977](#), p. 120). As categorias devem ser criadas de forma lógica e ampla, de forma que os dados, ao serem classificados nas categorias, não permitam interpretações muito subjetivas.
- Pertinência: “uma categoria é considerada pertinente quando está adaptada ao material de análise escolhido, e quando pertence ao quadro teórico definido” ([BARDIN, 1977](#), p. 120).
- Objetividade e a fidelidade: “As diferentes partes de um mesmo material, ao qual se aplica a mesma grelha categorial, devem ser codificadas da mesma maneira, mesmo quando submetida a várias análises” ([BARDIN, 1977](#), p. 120).
- Produtividade: “Um conjunto de categorias é produtivo se fornece resultados férteis: férteis em índices de inferências, em hipóteses novas e em dados exatos” ([BARDIN, 1977](#), p. 120 - 121).

3.5.2 A análise quantitativa

Para a análise quantitativa do questionário da percepção, optamos por fazer uma análise estatística descritiva do material coletado. Queríamos verificar o quanto foi importante e o que a atividade da sequência didática representou para o grupo de estudantes pesquisados. Então, aplicamos um questionário para investigar as suas opiniões em relação à atividade especial. O objetivo primordial era buscar indícios do quanto significativo foi a atividade para eles sob diversos aspectos, por isso recorremos à estatística descritiva.

Segundo [MILLMAN \(1970\)](#)

O importante é a qualidade dos dados, não às manipulações estatísticas. A relevância das conclusões estatísticas nunca será maior do que a adequação dos dados numéricos trabalhados estatisticamente. A interpretação dos resultados estatísticos depende do que está por detrás dos dados. Os números a serem analisados não são entidades sagradas representando puras abstrações. Ao contrário, sua utilidade na pesquisa empírica reside no fato que têm referentes no contexto da pesquisa, que significam algo no mundo real ([MILLMAN, 1970](#) apud [MOR-EIRA, 2011](#), p.120).

Na abordagem estatística, os alunos avaliaram a sequência didática atribuindo uma nota de 1 a 5, sendo a nota 1 atribuída quando ele discordava totalmente da questão e 5 quando ele concordava totalmente com a questão apresentada. As notas foram atribuídas a cada pergunta dentro de sete eixos temáticos, identificados como: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividades, Eixo 4 – Apoio e orientação, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão da atividade e Eixo 7 – Metodologia.

Então, criamos uma planilha onde foram tabuladas todas as respostas dos alunos. Posteriormente, pensamos que, como cada aluno possui uma característica que lhe é própria, criamos então duas características: C1 (Rendimento acadêmico) e C2 (Participação acadêmica). Posteriormente fizemos a correlação com cada eixo já citado (mais detalhes são apresentados no tópico 4.2 da análise da percepção do estudante). Enfatizamos aos alunos a necessidade de se responder ao questionário com total franqueza para que pudéssemos ter dados confiáveis.

Para a análise dos resultados recorreremos a procedimentos estatísticos, como a média e a correlação de variáveis, que segundo Moreira (2009) é o mais indicado para avaliar a fidedignidade de um instrumento num grupo que é testado apenas uma vez, ou seja, não há possibilidade de repetir o teste.

Os nossos escores foram as notas dos alunos para a atividade e as características criadas para os alunos. Queríamos verificar se havia relação entre os escores. Segundo Moreira (2011), uma correlação cujo coeficiente seja zero há indicação que não existe relação entre as variáveis. Neste caso, o comportamento de uma variável não é relacionado de qualquer modo ao comportamento da outra variável. Ainda enfatiza Moreira:

Conceitualmente a correlação ou o coeficiente de correlação (r) indica como se comportam duas ou mais variáveis umas em relação às outras. Quando temos uma correlação alta isto indica que o crescimento de uma variável é acompanhado pelo crescimento (no caso de um coeficiente de correlação perto de $+1$) ou pelo decréscimo (no caso de um coeficiente de correlação perto de -1) da outra variável. Convém lembrar aqui que o fato de duas variáveis serem correlacionadas (tanto positiva quanto negativamente) não implica uma relação causal en-

tre as duas variáveis. Para o estabelecimento de uma relação causal entre elas deve-se recorrer a outras ferramentas de análise, ou seja, devemos procurar na teoria as razões dessa dependência e os fatores de comprovação dessa dependência (MOREIRA, 2011, p. 154-155).

Nas avaliações dos alunos calculamos além da média, o desvio padrão e o coeficiente de correlação entre as variáveis. Os resultados obtidos, os quais serão analisados no próximo capítulo, acreditamos ter fornecido informações riquíssimas para o nosso trabalho e o ambiente educacional.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Para a realização da investigação, os seguintes documentos foram analisados e assim estruturados:

- Etapa 1 – Questionário da atividade PhET (http://phet.colorado.edu/sims/waveinterference/waveinterference_pt.jnlp) em grupos: Atividade composta por 17 questões que versavam sobre ondas, e tinha o objetivo de construir o conhecimento sobre ondas e articular os conceitos associados aos fenômenos da difração e interferência da luz.
- Etapa 2 – Atividade em grupo sobre o questionamento e previsão de resultados, composta por 6 questionamentos, cujos objetivos eram estudar a natureza da luz, a sua interação com corpos opacos e a desconstrução dos conceitos prévios através do conflito cognitivo.
- Etapa 3 – Desafio experimental: manipulando ondas senoidais em transparências, para entender a superposição de ondas, medir a espessura de um fio de cabelo utilizando o aparato experimental da figura 11, cujo objetivo era incentivar a aprendizagem compartilhada.

A análise qualitativa iniciou-se pelas respostas dos alunos às questões de cada roteiro da sequência didática; também foram analisadas as concepções dos alunos as quais foram confrontadas com as suas concepções, observadas após a realização da atividade experimental.

4.1 Análises das respostas às questões conceituais

Vamos apresentar o capítulo dos resultados da pesquisa. A presente pesquisa constituiu-se em elaborar uma sequência didática para o ensino de difração e de interferência da luz, em uma abordagem experimental problematizadora. Conforme já foi apresentado na metodologia, o trabalho teve um ciclo de 3 etapas intituladas de etapas 1, 2 e 3. A sequência didática foi trabalhada conforme exposto na tabela 3.

Tabela 3 – Síntese da sequência didática do trabalho

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Utilizando o simulador PhET	Questionamento e previsão de resultados	Desafio Experimental

Durante o desenvolvimento, os alunos se mostraram bastante motivados e ativos durante todo processo da etapa 1. Durante a etapa 2, apresentaram dificuldades em responder as perguntas da sequência, queriam respostas prontas do professor, mas ao longo do processo, esse problema foi contornado. Já na etapa 3, o processo transcorreu de forma mais tranquila, pois eles conseguiram fazer todas as medições corretamente. As anotações dos alunos realizadas durante o desenvolvimento da sequência foram recolhidas para observação e avaliação do professor. Cada etapa da sequência didática foram analisadas a partir dos seguintes critérios: conteúdo trabalhado, se os objetivos propostos foram cumpridos e considerações feitas pelos alunos na avaliação final da atividade.

Nos próximos tópicos estão apresentadas as análises e discussões das três etapas do desenvolvimento da sequência didática.

4.1.1 Primeira Etapa: Sequência Didática utilizando o simulador computacional PhET

Essa etapa foi desenvolvida no laboratório de informática e foi possível perceber que os alunos ficaram muito entusiasmados com a aula. Infelizmente, não foi possível usar todos os computadores disponíveis, pois vários estavam estragados. O objetivo era construir o conceito de ondas e, ao final, de interferência e difração da luz. A seguir, serão apresentados os dados preliminares obtidos após a categorização inicial dos documentos, através da leitura das respostas dos alunos, e da observação direta das atividades em grupo. Os instrumentos utilizados para a coleta de dados foram: Questionário da Atividade impresso e distribuído a todos os grupos, Observação Direta e Diário de Campo. A participação dos alunos foi fundamental para o andamento da aula.

Na tabela 4 apresentamos as respostas agrupadas por categorias da etapa 1.

Tabela 4 – Categorização das respostas dadas às questões da atividade aplicada na etapa 1.

Categorias/Grupos de Alunos – Atividade Etapa 1 (PhET)	Número de alunos	Percentual (%)
a) Familiaridade com o aplicativo PhET. Grupos: 7, 8 e 11 – Não conseguiram fazer medidas coerentes.	6 alunos	26
Grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 e 10 – Fizeram medidas corretas.	17 alunos	74
Continua na próxima página . . .		

Tabela 4 – continuação da página anterior

Categorias/Grupos de Alunos – Atividade Etapa 1 (PhET)	Número de alunos	Percentual (%)
b) Verificaram a relação inversa entre frequência e comprimento de onda. Grupos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10 e 11 – "Se aumenta a frequência diminui a distância entre as cristas e vice-versa. A frequência diminui ainda mais".	21 alunos	91
c) Não observaram a relação inversa entre frequência e comprimento de onda: Grupo: 8 – "Se aumenta a frequência o nível da água diminui. Se aumentar, diminui".	2 alunos	9
d) Relacionaram corretamente frequência, período e comprimento de onda. Todos os grupos: "Diminui a frequência, aumenta o tempo de oscilação e a distância entre as cristas aumentou".	23 alunos	100
e) Observaram a difração das ondas por uma fenda. Os grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 e 11 – "As ondas ao atingir a fenda se espalham".	21 alunos	91
f) Resposta inconclusiva em relação a difração das ondas. Grupo 7 – "Quanto menor a fenda, maior propagação de ondas. Quanto maior a fenda maior propagação entre as ondas".	2 alunos	9
Continua na próxima página ...		

Tabela 4 – continuação da página anterior

Categorias/Grupos de Alunos – Atividade Etapa 1 (PhET)	Número de alunos	Percentual (%)
g) Verificaram a difração e a interferência das ondas ao passar por duas fendas. Todos os grupos – "As fendas fazem com que as ondas se espalham e se encontram em certo ponto".	23 alunos	100

Nesta atividade utilizando o simulador PhET, podemos inferir que os alunos participaram ativamente de toda a atividade, em virtude das respostas dadas ao questionário e pelo número de acertos. Podemos perceber também pela análise das respostas dos alunos que, foram poucos os alunos que tiveram dificuldades com o aplicativo, embora fosse a primeira vez que eles estavam utilizando tal simulação. Houve grande interação entre os pares, com o material e com o professor no decorrer de toda a atividade, conforme diário de campo e respostas dadas ao questionário.

Os dados apresentados na tabela 4, após análise criteriosa da atividade, mostram claramente um desenvolvimento conceitual por parte dos estudantes. Eles conseguiram ao longo da atividade e manipulando o simulador, diferenciar amplitude de comprimento de onda, a relação inversa entre comprimento de onda e frequência, frequência e período. Somente o grupo 8 não relacionou corretamente as grandezas, fizeram a relação inversa com a amplitude. Na observação da difração, somente o grupo 7 apresentou uma resposta inconclusiva. Na observação da difração e da interferência todos

os grupos conseguiram perceber conceitualmente que as ondas ao passarem pelas fendas, se espalham e se encontram num ponto do espaço interferindo umas com as outras, gerando regiões claras e escuras.

Enfim, a atividade conseguiu inserir e melhorar a aprendizagem conceitual de ondas. Os alunos chegaram ao final da atividade, ativos no processo, e com uma concepção prévia de que a luz é uma onda e do que seria o fenômeno da difração e interferência da luz, embora não soubessem ainda dar uma resposta mais aprofundada sobre os fenômenos difração e interferência. Apenas o grupo 7 não respondeu a pergunta J do questionário (apêndice A), que exigia uma explicação para a formação de pontos claros e escuros na tela do simulador e perguntava se a luz era uma onda.

Ao final da atividade, esperava-se justamente a construção dos conceitos de ondas e a conexão com os vários tipos de ondas, meios de propagação e os fenômenos difração e interferência, inclusive da luz, e a interação entre os alunos, tendo como base o nosso referencial teórico. Isso foi observado durante e depois da atividade. A aprendizagem pode ser verificada após a avaliação feita pelo professor através das respostas dadas às questões do roteiro.

4.1.2 Segunda Etapa – Previsão e Questionamento

A segunda etapa da SD e utilizando o aparato experimental da figura 11 foi realizada em sala de aula, pois a escola não dispunha de laboratório. Mas isso não foi empecilho para a realização da atividade. Os objetivos da atividade eram:

- Viabilizar a desconstrução de concepções prévias pelo conflito cog-

nitivo gerado pela confrontação entre as previsões e a observação experimental.

- Desenvolver no estudante a habilidade de investigação e de questionamento.
- Incentivar a colaboração e a aprendizagem em grupos.
- Articular o conjunto de conceitos relacionados aos fenômenos da interferência e difração da luz.

Os estudantes em grupos responderam as perguntas com as suas previsões, observaram o experimento e tentaram explicar os resultados obtidos e ainda puderam comparar com outras situações como a substituição do fio de cabelo pelo fio de cobre, num total de seis perguntas para a referida atividade.

Na tabela 5 apresentamos o resumo das respostas dos alunos para a questão 1.

Tabela 5 – Respostas dos alunos para a primeira questão.

Respostas	Número de alunos
<p>Questão 1 – Ao colocarmos um fio de cabelo na frente de um feixe de laser, o que você espera ver na tela colocada a frente do laser? Respostas dos alunos: Grupo 1 – Não vai acontecer nada com o fio. Vai refletir o fio de cabelo na parede, talvez uma sombra. Grupo 2 – Irá aparecer uma parte na parede que não terá luz, pois o fio de cabelo separará a luz, mas a certo ponto a luz irá se encontrar. Grupo 3 e 5 – Não vai acontecer nada ou o fio de cabelo será queimado pelo laser. Grupo 4 – A luz vai incidir normalmente, pois o fio é muito fino. A luz divergirá menos e formar um ponto escuro. Aumentará o brilho e se esparramará na parede.</p>	22 alunos

Na tabela 6 vemos as concepções prévias dos alunos após categorização para tentar explicar o fenômeno ora apresentado na questão 1.

Tabela 6 – Categorias das Concepções dos alunos para a primeira questão da atividade.

Categorias / Grupos de Alunos – Atividade Etapa 2	Número de alunos	Percentual (%)
Previsão: Apresentam concepção corpuscular. Grupo 1, 2, 3 e 5 – Não vai acontecer nada com o fio. Vai refletir o fio de cabelo na parede. Irá aparecer uma parte na parede que não terá luz, ou seja, uma sombra.	18 alunos	82
Apresentam concepção ondulatória. Grupo 4 – A luz vai incidir, normalmente, pois o fio é muito fino. A luz divergirá menos e formar um ponto escuro. Aumentará o brilho e se esparramará no meio. A luz espalhará mais.	4 alunos	18

Durante a realização dessa etapa os alunos se mostraram empolgados, mais tranquilos e a vontade para interagir com o material. A ideia é que ao final dessa atividade, 18% conseguissem verificar que a luz se comporta como onda e não como partícula, pois partícula não contorna obstáculos, no caso o fio de cabelo. Foi possível perceber pelas respostas dos alunos que a maioria, 82% os grupos 1, 2, 3 e 5 ainda carregava a concepção corpuscular para a luz. Nos questionamentos 2 e 3, os alunos realizaram e observaram o experimento, em seguida foram orientados a descrever as suas observações e comparar com as previsões iniciais. A tabela 7 mostra o resumo das respostas.

Tabela 7 – Resumo das respostas dos alunos as questões 2 e 3.

Respostas	Número de alunos
<p>Questão 2 – Realize o experimento. Ajuste um fio de cabelo para que seja atingido pelo laser. O que você observa na tela a uns dois metros do aparelho? Descreva em detalhes suas observações. Respostas dos alunos: Grupo 1 – O fio de cabelo que está na vertical aparece na parede na horizontal. Grupo 2 – Apareceu uma linha horizontal pontilhada na parede. Apareceram regiões claras e escuras. Nas partes escuras são onde a luz não consegue chega e na parte clara é aonde a luz chega. Grupo 3 – Uma linha pontilhada. Grupo 4 – Pontos claros e escuros. Grupo 5 – Apareceu uma linha pontilhada na parede, pontos claros e escuros. Questão 3 – O que você observou foi o que você esperava? Como você explicaria o que você observou? Qualitativamente, como você poderia prever o que foi observado? Respostas dos alunos: Grupo 1 – Não. O fio de cabelo fez com que a luz se dividisse e ficassem linhas pontilhadas na horizontal. Grupo 2 – Não. Nas partes escuras são onde a luz não consegue chega e na parte clara é aonde a luz chega. Grupo 3 – Não. Pensávamos que não aconteceria nada. Grupo 4 – Não. O grupo pensou que o brilho aumentaria e formaria pontos mais escuros. Grupo 5 – Sim. Um resultado diferente antes e depois de colocar o fio de cabelo.</p>	22 alunos

A tabela 8 mostra a categorização das respostas depois de se realizar uma análise criteriosa do material.

Tabela 8 – Categorização das respostas dos alunos dadas as questões 2 e 3.

Discussão e Análise após o experimento Etapa 2	Número de alunos	Percentual (%)
Todos os grupos com exceção do grupo 4, observaram que as previsões não foram comprovadas pelo experimento. O grupo 4 percebeu uma certa semelhança com a previsão inicial. E mais: Grupo 1 e 5 – Houve uma mudança na concepção de partícula para onda. Grupos 2, 3 e 4 – Apresentam agora a concepção de onda para a luz e ainda relacionaram com a atividade do PhET.	22 alunos	100

A análise que fizemos dessas questões é que todos os alunos realizaram o experimento corretamente e através dele puderam perceber que nem sempre as suas crenças estão corretas e que existe uma explicação física possível. O conflito cognitivo provocado pela atividade foi perceptível pelas reações durante a atividade e pelas respostas dadas. Houve mudança e construção de novos conceitos verificados nas respostas dos estudantes. As respostas dos alunos para o questionamento 4 estão apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 – Resumo das respostas dos alunos para a questão 4.

Respostas	Número de alunos
Questão 4 – Que diferenças você deve observar ao substituir o fio de cabelo por um fio de cobre? Grupo 1 – Terá mais desvio da luz do que no fio de cabelo. As regiões claras e escuras ficaram mais separadas. Grupo 2 – Não vai passar a luz, mas se passar a luz não vai ser tão espalhada. Grupo 3 – Acho que os espaços entre os pontos claros e escuros vão diminuir. Grupo 4 – A luz ficará com menos intensidade e o espaçamento entre os pontos claros e escuros diminuirão. Grupo 5 – O resultado vai ser diferente. Porque o fio de cobre é mais grosso. As faixas claras e escuras vão ficar mais largas.	22 alunos

Podemos verificar que houve muita divergência durante as respostas dos alunos observados na tabela 8. Então, após uma exaustiva análise, criamos a tabela 10.

Tabela 10 – Categorização das previsões dos alunos para questão 4.

Previsão	Número de alunos	Percentual (%)
Previsão Ao substituir o fio de cabelo pelo fio de cobre: Grupos 1, 2 e 5 fizeram previsões inconclusivas e relacionando com o fato do fio de cobre ser mais grosso, pensaram que as faixas claras e escuras também ficariam maiores.	15 alunos	68
Grupos 3 e 4 fizeram previsões corretas.	7 alunos	32

Seguindo o roteiro foi solicitado aos alunos para realizar o experimento e posteriormente descrever as possíveis diferenças, caso elas existissem. Na tabela 11 temos as observações em relação ao questionamento cinco.

Tabela 11 – Resumo das respostas dos alunos a questão 5.

Que diferença você observou ao substituir o fio de cabelo por um fio de cobre? Descreva suas observações	Número de alunos
Grupo 1 – A distância das regiões claras e escuras ficou próxima e permaneceu apenas a região clara em forma de linhas.	5 alunos
Grupo 2 – Apareceram mais pontilhados.	5 alunos
Grupo 3 – A linha ficou maior e sem pontilhados.	3 alunos
Grupo 4 – O espaçamento entre os pontos claros e escuros diminuiu.	4 alunos
Grupo 5 – A linha ficou maior, a distância diminuiu e ficou mais forte. As distâncias entre as regiões claras e escuras diminuíram.	4 alunos

Após realizar o experimento, os alunos compararam os resultados com as previsões. A tabela 12 mostra as respostas e as possíveis discussões que surgiram durante o experimento em relação ao questionamento 6.

Tabela 12 – Resumo das respostas dos alunos referentes a questão 6.

O que você observou foi o que você esperava? Que diferenças você observou? Como você explicaria o que você observou?	Número de alunos
Grupo 1 – Não. O fio de cobre fez com que as partes claras e escuras se aproximassem formando uma linha.	5 alunos
Grupo 2 – Não. A linha ficou mais pontilhada.	5 alunos
Grupo 3 – Não. Ficou sem linha pontilhada, somente uma linha.	3 alunos
Grupo 4 – Sim. Ouve algumas diferenças nas regiões claras e escuras. No fio de cobre ela espalha menos do que no fio de cabelo.	4 alunos
Grupo 5 – Não. Observamos que as distâncias das faixas diminuíram.	4 alunos

Baseado na discussão e na apresentação das suas observações fizemos a categorização das respostas, conforme mostra a tabela 13.

Tabela 13 – Categorização das respostas dos alunos às questões 5 e 6.

Discussão e Análise do experimento: substituir o fio de cabelo pelo fio de cobre:	Número de alunos	Percentual (%)
Todos os grupos concluíram que as previsões não se verificaram novamente. Com exceção do grupo 3 que estava usando um laser que apresentou defeito e no experimento deles não pôde ser verificada que as distâncias diminuíram, aparecendo somente uma linha contínua.	22 alunos	100

Essa análise permitiu observar novamente que as crenças dos alunos adquiridas na vida cotidiana não se verificaram com o experimento e, o mais incrível, é que eles mesmos chegaram a conclusão de que certos fenômenos não são explicados satisfatoriamente a partir dos conceitos espontâneos da vida diária, e que aprender com os erros é mais interessante do que receber respostas prontas do professor. Os alunos não ficaram decepcionados quando o experimento contrariava as suas previsões, pelo contrário, isto

aguçava ainda mais a sua curiosidade. A superação das concepções foi sendo construída ao longo da atividade onde a insatisfação gerada pelo conflito cognitivo se caracteriza segundo a teoria Piagetiana, como situação de desequilíbrio. E é esta a fonte para o desenvolvimento do pensamento e da mudança conceitual.

Esta fase foi projetada seguindo a metodologia de Aula de Demonstração Interativa (ADI), proposta por Sokoloff, visando criar um ambiente de questionamento das concepções prévias dos estudantes com o experimento real. Essa abordagem teve como característica principal desenvolver uma estratégia problematizadora e desafiadora, em que o aluno é desafiado a antecipar os resultados de um experimento antes de observá-lo.

A grande vantagem dessa estratégia é a de induzir o aluno no processo de investigação do fenômeno, de reflexão conceitual, colaborando com os colegas, discutindo em grupos e tentando explicar o fenômeno observado. É muito importante observar e opinar, pois leva a uma grande interação aluno/aluno e aluno/professor.

Nas atividades foi possível vislumbrar que os estudantes reconheceram que as suas previsões nem sempre foram verificadas no experimento, mas isso leva a uma motivação em aprender, todos queriam fazer o experimento para verificar se suas previsões estavam corretas ou não. Com exceção do grupo 3 que fez uma previsão correta devido ao laser defeituoso que usava, então os alunos não observaram que estavam corretos em suas previsões. Percebe-se também pelas respostas dos alunos, que foi possível desconstruírem a concepção da luz atuando como partícula, passando a perceber a luz como onda, através do conflito cognitivo gerado pelo experimento ao longo da referida atividade. O importante a se destacar, é que o

erro ao prever, foi o motor propulsor para a aprendizagem e não uma forma de punir.

A partir de algumas respostas é possível concluir que os alunos relacionaram, durante as suas previsões e discussões do experimento, com a atividade do PhET da etapa 1, e isso mostra que os alunos buscaram fazer comparações para tentar explicar um fenômeno inicial que ainda não estava construído solidamente na sua estrutura mental.

Seguindo a linha Piagetiana e nas perspectivas sócio construtivista, podemos destacar o importante papel do professor, que é o agente mais capaz no processo ensino aprendizagem na atividade, pois o professor é o responsável por provocar esse conflito cognitivo no estudante de forma adequada, ou seja, mediando todo o processo. Note que o estabelecimento do conflito cognitivo foi verificado quando o estudante foi exposto ao questionamento e sobre a discrepância entre a sua concepção prévia e a observação experimental, ou seja, o desafio gerando o desequilíbrio.

Em geral foi possível verificar também uma interação social muito grande na atividade, favorecendo o desenvolvimento de suas capacidades cognitivas, tão fundamental para a aprendizagem significativa.

4.1.3 Terceira etapa – Desafio experimental

A terceira etapa foi dividida em quatro atividades. Nas duas primeiras os alunos responderam aos questionamentos sobre o encontro de duas ondas e para isso manipularam ondas impressas em transparência (Figura 15).

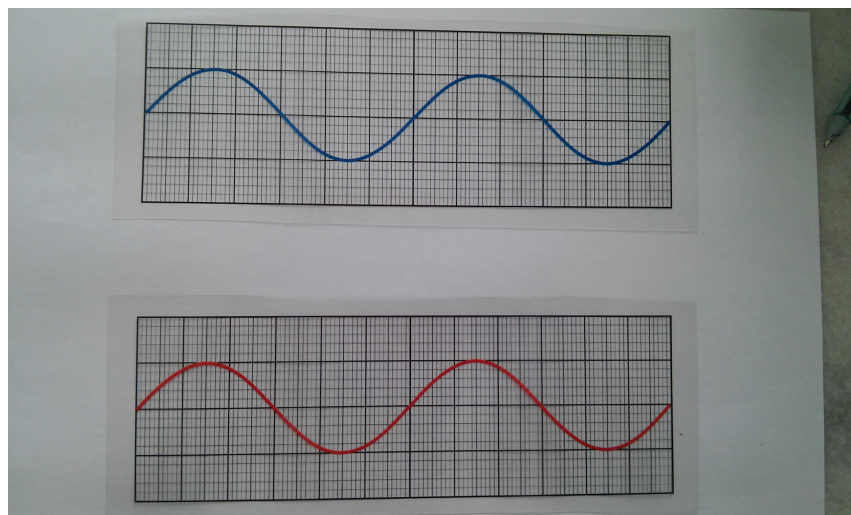


Figura 15 – Ondas senoidais impressas em transparências para verificação da superposição de ondas.

O resultado da superposição foi desenhado por eles no quadro de respostas em folha própria. Nesta etapa, os alunos trabalharam em grupos e cada um recebeu o roteiro com os questionamentos e duas transparências para manipular. Na atividade quatro, os alunos foram desafiados a medir a espessura de um fio de cabelo do colega de classe. E para isso receberam Kit experimental, composto do aparato experimental (figura 11), e outros materiais necessários para realização do desafio. É importante destacar que para a medição da espessura do fio de cabelo, eles tiveram uma aula expositiva antes de 50 minutos, com a dedução da equação da difração. Os objetivos da atividade foram:

- Entender a superposição de ondas.
- Incentivar a aprendizagem compartilhada.

- Determinar experimentalmente a medida da espessura de um fio de cabelo.

No quadro da tabela 14 é apresentado o resumo das respostas dos alunos agrupadas por categorias. As atividades completas estão no anexo deste trabalho.

Aos alunos foram passadas as seguintes orientações: 1) Manipulando as transparências, desenhe no terceiro quadro abaixo, o que você observa quando as duas ondas se superpõem. Para ajudar, posicione as duas ondas das transparências de forma que as cristas estejam alinhadas entre si. 2) Imagine que duas ondas, inicialmente em fase, percorram caminhos diferentes até chegar ao mesmo ponto P, onde se superpõem. O que você espera que aconteça se a diferença dos caminhos for exatamente um comprimento de onda? 3) O que você espera que aconteça se a diferença dos caminhos for exatamente 2 ou 3 vezes o comprimento de onda?

Tabela 14 – Categorização das respostas dos alunos da atividade 1 – Ondas em fase

Respostas	Número de alunos	Percentual (%)
Desenharam corretamente a superposição das duas ondas em fase. Grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 11 – Crista com crista e vale com vale. O padrão é o mesmo.	20 alunos	91
Não conseguiram observar e fazer o desenho corretamente, mas responderam corretamente os itens 2 e 3. Grupo 10 – Crista com crista e vale com vale. O padrão é o mesmo.	2 alunos	9

Podemos observar que apenas o grupo 10 não conseguiu fazer o desenho, mas responderam aos questionamentos corretamente. Na tabela

15, é apresentada a categorização das respostas para a atividade 2, que apresentava os seguintes questionamentos:

- Manipulando as transparências, desenhe no terceiro quadro abaixo, o que você observa quando ocorrer a superposição das ondas. Para ajudar, posicione as duas ondas das transparências de forma que as cristas estejam alinhadas com os vales. 2) Imagine que duas ondas, inicialmente em fase, percorram caminhos diferentes até chegar ao mesmo ponto P onde se superpõem. O que você espera acontecer se a diferença dos caminhos for exatamente meio comprimento de onda? 3) O que você espera que aconteça se a diferença dos caminhos for exatamente $3/2$ ou $5/2$ de comprimento de onda?

Tabela 15 – Categorização das respostas dos alunos dadas à atividade 2 – Ondas em oposição de fase

Respostas	Número de alunos	Percentual (%)
Todos os grupos desenharam corretamente a superposição das duas ondas fora de fase e responderam corretamente os itens 2 e 3. Todos os grupos – A intensidade é mínima, Crista com vale e vale com crista. O padrão é o mesmo e se repete.	22 alunos	100

Após o término da atividade 2, iniciamos a atividade 3 que tinha como objetivo provocar a comparação com situações já vistas anteriormente na etapa 1 da sequência didática e apresentava o seguinte questionamento:

- Na atividade do PhET, quando você utilizou duas fendas e a luz passou por elas, como mostra a figura abaixo, apareceu na tela, regiões de máximos (faixas claras) e de mínimos (faixas escuras). Como você explicaria através da superposição de ondas a formação dessas regiões.

Tabela 16 – Categorização das respostas dos alunos para o questionamento da atividade 3

Respostas	Número de alunos	Percentual (%)
Todos os alunos relacionaram corretamente e explicaram satisfatoriamente o questionamento. Grupo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 – Nas regiões claras há encontro de crista com crista, pois está recebendo mais luz e nas regiões escuras, crista com vale, pois não se obtém ondas.	22 alunos	100

As três atividades possibilitaram reforçar ainda mais o conceito de difração e interferência. Pelas respostas dos alunos, durante a atividade 1 somente um grupo não desenhou corretamente a superposição das ondas em fase. Já na segunda atividade, ondas fora de fase, todos desenharam corretamente a superposição das ondas, inclusive o grupo 1, após a mediação do professor na atividade 1, pois eles estavam com certa dificuldade de apenas desenhar as ondas na folha. Na atividade 3 que relacionava a superposição de ondas com a atividade do PhET todos os alunos conseguiram inferir que as regiões claras, com muita luz, correspondem a superposição de crista/crista ou vale/vale e nas regiões escuras, ausência de luz, crista/vale (tabela 16). Essas atividades possibilitaram enxergar o rápido desenvolvimento conceitual dos alunos desde a etapa 1 da sequência até a atividade 3 da etapa 3.

A proposta da atividade 4 era a medição da espessura do fio de cabelo de um colega. Somente no ao iniciar a atividade é que eles receberam orientação de como captar as medidas necessárias para o cálculo da espessura do fio de cabelo. Durante a realização da atividade, eles tiveram mais autonomia e não tiveram muitas dificuldades, conseguiram realizar diversas medidas. De posse das medidas e usando uma calculadora, os alunos

encontraram a espessura do fio de cabelo do colega ou dele próprio. A tabela 17 destaca as medidas realizadas pelos alunos.

Tabela 17 – Respostas dos alunos num total de 5 (cinco) grupos para espessura do fio de cabelo.

Respostas	Número de alunos	Comentário do Pesquisador
Grupo 1 - 98, $42\mu m$	3 alunos	Os grupos 4 e 5 tiveram dificuldades nos cálculos matemáticos, sendo necessário a mediação do professor
Grupo 2 - 106, $4\mu m$	3 alunos	
Grupo 3 - 106, $4\mu m$	3 alunos	
Grupo 4 - 75, $54\mu m$	4 alunos	
Grupo 5 - 53, $2\mu m$	3 alunos	

Essa atividade prática de medir a espessura de um fio de cabelo envolveu os alunos para sondar seus entendimentos de conceitos aprendidos nas atividades anteriores usando um ciclo de aprendizagem baseada em três pilares: *previsão, observação e comparação com os resultados do experimento*. Apesar dessa etapa exigir mais autonomia dos alunos em executar tal atividade, a relação para encontrar a espessura do fio, foi deduzida pelo professor em sala, numa aula expositiva anterior a essa atividade, visto que os alunos teriam muito dificuldade em deduzir sozinhos a referida equação sem a intervenção do professor e este não era o objetivo deste trabalho.

Na atividade todos os alunos conseguiram fazer as medidas, como pode ser visto na tabela 17, todas coerentes com a espessura real de fio de cabelo. Havendo necessidade de uma mediação maior nos grupos 4 e 5, pois eles não estavam conseguindo medir as distâncias entre as franjas no anteparo devido a pequena distância entre o fio de cabelo e o anteparo que estavam usando.

Enfim, mesmo numa atividade que envolvia cálculos, que eles normalmente têm pavor, os alunos se mostraram motivados durante todo o

tempo e ansiosos para descobrir a espessura do fio de cabelo.

No t3pico seguinte temos a an3lise quantitativa somente dos itens que achamos relevante para o nosso trabalho atrav3s da m3dia e da correla3o entre as vari3veis analisadas.

4.2 An3lise e Discuss3o do question3rio de percep3o

Ap3s o t3rmino da Sequ3ncia did3tica os alunos fizeram uma avalia3o geral da import3ncia da atividade para eles. O objetivo dessa avalia3o era investigar os poss3veis ind3cios do quanto a atividade especial foi relevante, e coletar diversas informa3es a esse respeito. O question3rio do teste era composto por 28 perguntas distribu3das entre 7 eixos: **1) Relev3ncia da Atividade, 2) Reflex3o Cr3tica, 3) Intera3o entre os Pares, 4) Apoio do Professor, 5) Apoio dos Colegas, 6) Compreens3o e 7) Metodologia.**

O question3rio investigativo coletou a opini3o dos alunos acerca da atividade proposta. Os alunos deram uma nota de acordo com o grau de concord3ncia, dentro da escala de Likert de 1 a 5, conforme o esquema a seguir:

Discordo Totalmente				Concordo Plenamente
1.....	2	3	4	5

O question3rio completo encontra-se no ap3ndice deste trabalho. Foi elaborado um quadro com as m3dias das avalia3es das quatro perguntas de cada eixo, denominado de Eixo 1, Eixo 2, ..., Eixo 7. Outro objetivo do

questionário foi de validar o ensino com a sequência didática através dos indícios coletados com os alunos. Como destaca [Moreira \(2011\)](#):

(...) Por outro lado, para saber se houve aprendizagem é preciso avaliá-la. A avaliação da aprendizagem pode, em princípio, prover evidências não só sobre o que foi aprendido, mas também sobre até que ponto o ensino foi responsável por isso. Naturalmente, é possível também avaliar o ensino de outras maneiras como, por exemplo, através da opinião do aluno ([MOREIRA, 2011](#), p. 15).

E para a análise desse evento que engloba os alunos e o professor fizemos uma abordagem quantitativa. Em seu livro, [Moreira \(2011\)](#) enfatiza:

Nessa perspectiva, os eventos focalizados pela pesquisa em ensino são episódios, acontecimentos, situações, relativos a ensino, aprendizagem, currículo, contexto e avaliação ou à combinação deles. Uma aula, um procedimento de avaliação, um novo currículo, a influência de certa variável sobre a aprendizagem, um experimento de laboratório, a percepção mútua de alunos e professores, são exemplos de eventos que interessam à pesquisa em ensino. Esses eventos ocorrem naturalmente ou são feitos acontecer pelo pesquisador que faz, então, registros dos eventos. Um videotape de uma aula, ou de parte dela, é uma maneira de registrar esse evento. Anotações em uma ficha de observação ou de controle, gravações de entrevistas, mapas conceituais, respostas a testes, são exemplos de registros de eventos. Tais registros são transformados e analisados – quantitativa e/ou qualitativamente – de modo a conduzir a explicações e/ou descrições que procuram responder questões foco sobre o fenômeno de interesse. Essas questões, na perspectiva usada neste texto, se referem ao fenômeno de interesse da pesquisa em ensino, ou seja, ao ensino propriamente dito, à aprendizagem, à avaliação, ao currículo e ao contexto ([MOREIRA, 2011](#), p. 16).

Analisamos e discutimos os pontos considerados mais relevantes da avaliação. As tabelas e os gráficos na sequência mostram a síntese de toda a avaliação dos estudantes nos respectivos eixos mais relevantes. Com a análise, procuramos indícios de que a atividade despertou interesse, atingiu os objetivos planejados, ou seja, ao final do processo de análise do material, vamos através dos indícios, validar a capacidade da SD em promover a aprendizagem dos conceitos e o envolvimento dos alunos na reflexão, interação, compreensão e construção dos seus conhecimentos.

Para a análise quantitativa fizemos uma abordagem estatística, criamos uma planilha onde foram tabuladas todas as respostas dos alunos. Para fazer as correlações criamos 2 categorias para o perfil do aluno – rendimento acadêmico e participação acadêmica – avaliadas com uma nota de 1 a 5 onde 1 é a nota mais baixa e 5 corresponde a uma nota máxima. Da mesma forma, os alunos também avaliaram a SD atribuindo a cada pergunta uma nota de 1 a 5, onde a nota 1 ele discordava totalmente da questão e 5 concordava totalmente com a questão apresentada. Para as categorias (*características*) dos alunos o professor avaliou seguindo os seguintes critérios:

C1) Rendimento Acadêmico: Média da nota final nas disciplinas de Física e de Língua Portuguesa, sendo que foi considerada a seguinte escala:

- Nota 1 para nota final de 0 a 19 pontos.
- Nota 2 para nota final de 20 a 39 pontos.
- Nota 3 para nota final de 40 a 59 pontos.
- Nota 4 para nota final de 60 a 79 pontos.

- Nota 5 para nota final de 80 a 100 pontos.

C2) Participação Acadêmica: Média das notas dadas pelos professores das disciplinas Física, Geografia, Biologia, Matemática e Língua Portuguesa. Notas entre 1 e 5, sendo a nota 1 para o aluno menos participativo e 5 para o aluno mais participativo. Apresentamos na tabela 18 do próximo tópico os valores médios e dos desvios padrão.

4.2.1 Valores das médias e dos desvios padrão

Os valores obtidos para a média e o desvio padrão permitem inferir que todos os itens apresentaram valores expressivos, e a atividade foi bem recebida pelos estudantes os quais avaliaram positivamente a sequência didática aplicada.

Na tabela 18 apresentamos os valores da média e do desvio padrão da avaliação do teste investigativo da percepção dos alunos de todos os eixos.

Tabela 18 – Média e desvio padrão da percepção dos estudantes de cada eixo. Eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação na atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão, Eixo 7 – Metodologia

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4	Eixo 5	Eixo 6	Eixo 7
Média	4,21	3,87	3,64	4,64	3,42	4,08	4,30
Desvio Padrão	0,83	1,04	1,15	0,69	1,23	0,97	0,91

A análise pelas médias, entretanto, permite inferir, que dentre os eixos estudados, o que apresentou menor média foi o eixo 5, que se refere ao apoio dos colegas. Os nossos estudantes não estão acostumados a trabalhar

em conjunto, talvez devido ao sistema tradicional de ensino que prioriza somente a fala do professor.

A nossa investigação buscando mais indícios, partimos para a análise das duas características dos alunos, conforme já exposto, para diferenciar os estudantes e tentar identificar e/ou relacionar o perfil do aluno com a nota que ele avaliou a sequência didática pode ser vista na tabela 19, que mostra a média e o desvio padrão das características dos alunos

Tabela 19 – Média e o desvio padrão das características dos estudantes, criada pelo professor pesquisador. Características: C1 Rendimento Acadêmico – C2 Participação acadêmica.

Característica	C1	C2
Média	3,43	3,42
Desvio Padrão	0,67	0,87

A característica C1 foi classificada de maneira objetiva, a partir do resultado escolar dos alunos, o outro valor corresponde a uma avaliação subjetiva realizada por diversos professores da turma. Em termos médios, podemos destacar que os alunos em questão apresentam um rendimento acadêmico mediano, assim como a avaliação subjetiva dos professores da turma. Isso vai ao encontro com o que já foi destacado nesse trabalho, os alunos não tem o hábito de estudo e a turma em geral não é participativa, como demonstra a característica C2.

Em busca de mais informações, fizemos estimativas de correlação entre as percepções dos estudantes e as duas características, para estabelecer eventuais evidências de que existe relacionamento entre os eixos e as características. A tabela 20 mostra as correlações entre os eixos e as características C1 e C2.

Tabela 20 – Coeficiente de correlação. Características do estudante: C1 – Rendimento acadêmico, C2– Participação acadêmica. Eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação na atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão, Eixo 7 – Metodologia.

Relação entre as correlações entre eixos e características		
Eixo/Item	Características	
	C1	C2
E1	* 0,39	0,23
E2	-0,11	-0,06
E3	0,10	-0,15
E4	0,03	0,21
E5	-0,15	* -0,35
E6	-0,11	-0,08
E7	* -0,40	* -0,37

O objetivo desta análise é verificar o nível de relacionamento entre os eixos, que são as médias das avaliações dos estudantes em cada tema da investigação analisada, com cada uma das características dos estudantes. Para essa análise, usamos o cálculo do coeficiente de correlação, o qual assume valores entre -1 e +1. Se positivo, indica que existe correlação e, se negativo, que existe uma anti-correlação entre as variáveis aleatórias investigadas. Para (COHEN, 1988 apud FILHO; JUNIOR, 2010):

(...)valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; valores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes(...)(COHEN, 1988 apud FILHO; JUNIOR, 2010, p. 119)

Os valores por nós encontrados entre os respectivos eixos e a característica C1 foram baixos, na maioria dos casos indicando que as variáveis, no geral, estão positivamente correlacionadas. O destaque maior é para os

eixos E1 C1 (Correlação positiva), E7 C1 (Correlação negativa), E5 C2 e E7 C2 (Correlações negativas) indicando uma moderada relação entre as variáveis.

Passamos a analisar os eixos de maior destaque para a nossa pesquisa. Todas as análises iniciaram com uma tabela de contingência e que foi usada para a construção dos gráficos.

4.2.1.1 Eixos e Categorias de maior destaque

O gráfico da figura 16 mostra a distribuição das respostas dos alunos. O resultado mostra que a percepção dos alunos para este item tem como resultado uma correlação positiva, 0,39 (tabela 20), indicando que tanto os alunos de alto rendimento quanto os alunos de baixo rendimento avaliaram positivamente a sequência didática.

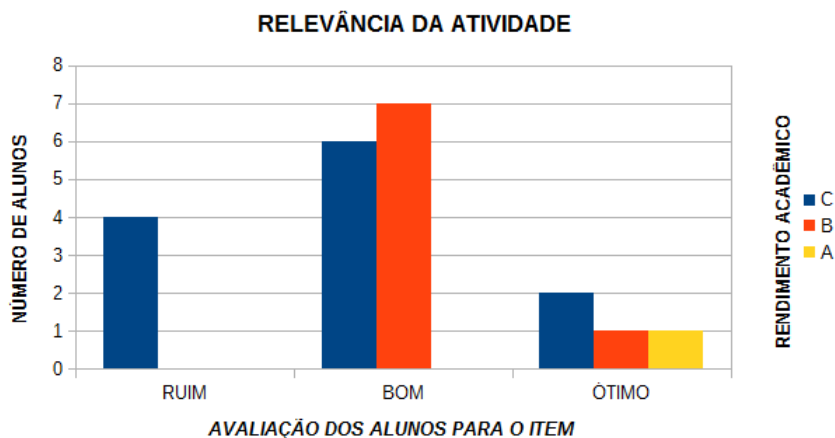


Figura 16 – Eixo 1 – Relevância da atividade x C1 – Rendimento Acadêmico Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.

Considerando que, de acordo com as perguntas do item, a análise mostra que a abordagem foi interessante, o que ele aprendeu foi importante para a sua formação e como melhorar o seu estudo. A Média foi expressiva, 4,21 (tabela 18). Segundo o critério de escala de Lickert, podemos observar pelo gráfico da figura 16, toda a síntese dos estudantes e verificar que, em geral, boa parte dos estudantes avaliaram muito bem a relevância da atividade.

No eixo de destaque seguinte onde temos o eixo E7 relacionado também com o rendimento acadêmico do estudante, Categoria C1. O gráfico da figura 17 mostra o resumo das respostas dos estudantes.

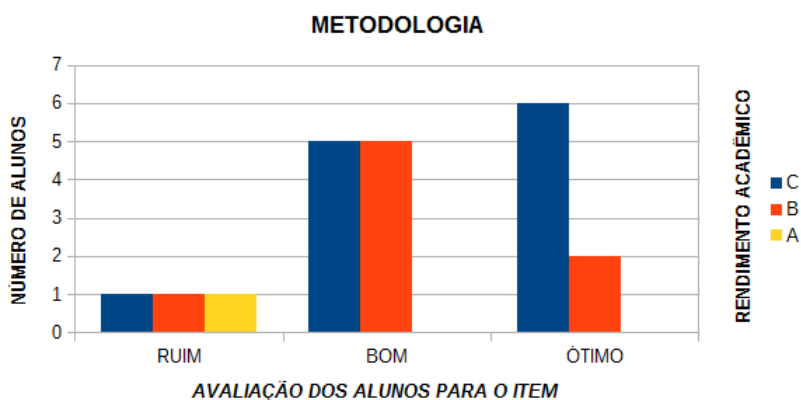


Figura 17 – Eixo 7 – Metodologia x C1 – Rendimento Acadêmico Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.

Esses dados nos leva a seguinte análise: a média foi alta, 4,30 (tabela 18), indicando que a percepção dos estudantes em relação à estratégia de prever os resultados antes da observação foi relevante e os levou a uma reflexão sobre as suas concepções dos conceitos trabalhados na atividade.

Além da média analisada, podemos perceber que a correlação foi negativa, -0,40 (tabela 20), indicando que o aluno de baixo rendimento avaliou muito positivamente a metodologia e o aluno de alto rendimento avaliou negativamente a metodologia, porém uma relação moderada. Neste eixo também composto de 4 afirmações, há uma afirmação que nos chama a atenção, pois a média foi baixa, a afirmação 25 do questionário de percepção que diz: "*As minhas previsões foram sempre comprovadas na etapa de realizar as experiências*". Essa afirmação nos indica que os alunos de baixo rendimento concordaram com a afirmação e não reconheceram que as previsões nem sempre foram verificadas no experimento. É provável que eles não entenderam a afirmação, somente 3 alunos, um de alto rendimento, um de baixo e um médio rendimento conseguiram perceber que as previsões não foram observadas no experimento.

Enfim, no eixo 7, podemos generalizar que a maioria dos estudantes aprovaram a metodologia, e conseguiram compreender as diferenças entre o que ele previu e o que ele observou, e que a estratégia serviu para mudar a sua concepção dos conceitos.

A análise seguinte se refere ao apoio dos colegas e a participação acadêmica. É interessante observar que os estudantes não estão acostumados com atividades em grupos corroborando com a análise feita pelos professores na categoria C2. O gráfico da figura 18 destaca esses dados.

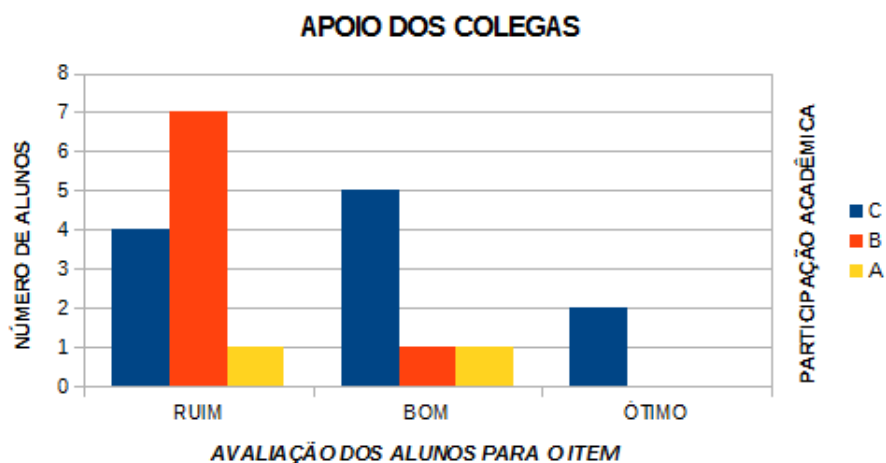


Figura 18 – Eixo 5 – Apoio dos Colegas x C2 - Participação Acadêmica Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.

É possível perceber que a correlação foi moderada negativa, - 0,35 (tabela 20) indicando que os alunos menos participativos foram os que avaliaram bem o apoio dos colegas. No geral, a média do item foi baixa, 3,42 (tabela 18). A conclusão que tiramos dessa análise é que a maioria dos alunos possivelmente, não está acostumada com o tipo de metodologia trabalhada na sequência didática e que na avaliação, os alunos tenham sido influenciados por essa diferença de metodologia com a tradicional, a qual eles estão tão acostumados.

Outro destaque é para o eixo da metodologia, conforme mostra o gráfico da figura 19.

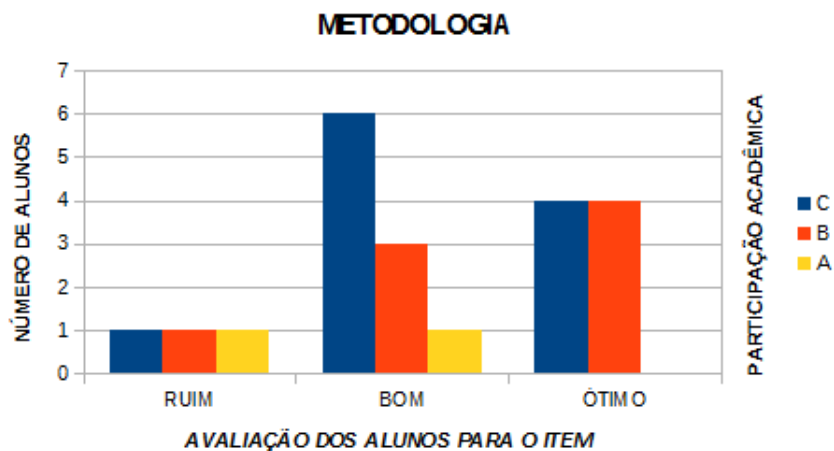


Figura 19 – Eixo 7 - Metodologia x C2 - Participação Acadêmica Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.

O gráfico da figura 19 mostra que dos 21 alunos participantes da avaliação, os estudantes considerados como não participativos nas atividades, podemos inferir que a maioria avaliou como boa e ótima a metodologia e isso está indicado na anti-correlação moderada, $-0,37$ (tabela 20). Em geral, a maioria dos estudantes sendo participativos ou não avaliou o item metodologia positivamente, como se pode ver pela média do item que foi $4,30$ (tabela 18).

Podemos justificar possivelmente que os alunos não estão acostumados com o tipo de metodologia trabalhada na sequência didática e que na avaliação o aluno tenha sido influenciado por essa diferença de metodologia com a tradicional a qual eles estão tão acostumados.

5 DISCUSSÃO

O resultado da aplicação da sequência didática parece apontar que tirar o aluno da condição de passivo favorece não somente a sua autonomia, mas também o leva a reflexão, questionamento, compreensão e a propor soluções para os desafios que aparecem na sua vida.

A sequência didática permitiu observar que até a autoestima dos alunos foi elevada, pois eles se sentiram parte do processo de aprendizagem e permitiu criar um ambiente compartilhado no processo, favorecendo o diálogo entre os pares e com o professor. Inicialmente com a atividade computacional PhET, para construirmos o conceito de ondas, difração e interferência para a luz, já foi uma novidade para os alunos que não estavam acostumados com esse tipo de trabalho. Na verdade, a novidade faz sentido, por isso a necessidade de criarmos estratégias de ensino diferenciadas das tradicionais.

Foi possível perceber ao longo da análise das respostas dos alunos e pela observação direta e através do diário de campo, que os objetivos propostos foram sendo construídos e que o uso do computador na atividade favoreceu a participação dos estudantes e os motivou na atividade. Os alunos que se mostravam desinteressados nas aulas centralizadas no professor foram os que mais colaboraram, dialogaram com os membros do seu grupo e com o professor. Isso é um indicativo de que eles estavam ativos durante todo o processo.

Na fase 2, de previsão e questionamento, as previsões nem sempre foram verificadas no experimento, nem por isso eles se se sentiram desmoti-

vados, muito pelo contrário, queria observar e discutir a diferença das suas crenças com o real. Mais uma vez a atividade foi desenvolvida em grupos e foi possível acompanhar e notar a interação ocorrida em toda a atividade.

Além da metodologia baseada nas aulas demonstrativas interativas de Sokoloff, inspiramos a parte experimental na prática pedagógica de Vygotsky e Ausubel. E foi nítido, a colaboração, a interação e o desenvolvimento em toda a sequência didática.

Na fase do desafio experimental, para medir a espessura do fio de cabelo, todos os grupos fizeram as medições corretamente e conseguiram efetuar a medida correta para o fio de cabelo sem a intervenção do professor, indicando que eles se mostraram mais autônomos.

Todas estas considerações podem ser verificadas nas respostas dadas a avaliação da percepção do estudante sobre a sequência didática que está na tabela 18 deste trabalho. Os métodos usados nas análises estatísticas se mostraram eficientes e serviram para corroborar as nossas expectativas em relação à atividade. Em todos os eixos versus categorias foi possível observar uma boa avaliação dos estudantes para a atividade especial sobre difração e interferência da luz, em especial para os eixos Relevância da atividade, Metodologia, e Apoio dos Colegas.

Enfim, os alunos conseguiram perceber a importância da atividade para a sua formação, refletiram sobre como estudam e sobre os conteúdos abordados. Com relação à interação com o professor, se sentiram estimulados em participar, tiveram oportunidade de dialogar e acharam que o professor contribuiu com a qualidade da atividade. Com relação a interação e apoio dos colegas, foi interessante observar que nossos estudantes estão acostumados

com o estilo tradicional das aulas, em que há pouco dialogo e sim muita passividade.

Os dados dessa análise parecem confirmar os resultados obtidos com a aplicação dessa nova metodologia e também vai ao encontro da teoria construtivista, que, segundo Vygotsky, a sala de aula é um dos espaços mais oportunos para a construção de ações partilhadas entre os sujeitos. No próximo tópico temos o registro de alguns comentários feito pelos alunos ao final do teste de investigação da percepção deles em relação a sequência didática.

5.1 Registro dos comentários dos alunos

Ao final do questionário investigativo da percepção dos alunos foi perguntado:

O que mais você gostaria de comentar sobre a atividade desenvolvida? Tivemos algumas respostas que mostram a importância e a validade desse trabalho com os estudantes. Segue:

Aluno 1: “Achei legal e gostei de fazer a atividade”.

Aluno 2: “É muito bom ver coisas que antes achava que não existia, principalmente medir a espessura de um fio de cabelo”.

Aluno 3: “Achei legal e estimulante, um novo jeito de aprender”.

Aluno 4: “Nada”.

Aluno 5: “Foi muito bom para compreensão de alguns conceitos. Como não é sempre o que a gente imagina é o correto”.

Aluno 6: “Gostei deu para tirar bastante proveito, além de ser um

jeito diferente de ver a perspectiva do assunto”.

Aluno 7: “Com a atividade ficou mais fácil de entender a matéria”.

Aluno 8: “Eu aprendi muito”.

Aluno 9: “Foi ótima a atividade, teve um bom desenvolvimento”.

Aluno 10: “Foi uma das atividades mais legais que eu já fiz”.

Aluno 11: “As atividades foram realmente de muito aprendizado, pois fomos para uma física mais prática e interessante”.

Aluno12: “Eu aprendi muita coisa e concordo com a atividade desenvolvida”.

É importante destacar que o nosso objetivo quanto a análise estatística foi buscar indícios da importância da atividade para os referidos estudantes e não extrapolar os resultados para uma população maior, pois a amostra, por ser pequena, não permite fazer tal dedução.

6 CONCLUSÃO

Esse trabalho evidencia que é possível através da pesquisa melhorar o processo ensino aprendizagem de uma forma geral, em especial, o ensino dos fenômenos difração e interferência da luz em uma abordagem experimental diferenciada da tradicional. A sequência didática apresenta a possibilidade de se trabalhar atividades diversificadas, de baixo custo e em grupos, onde o aluno é a peça central de todo o processo, principalmente em escolas públicas onde há uma carência enorme de materiais diversificados para se trabalhar conteúdos de física.

A presente proposta apresenta inúmeras possibilidades para que o professor se sinta à vontade em usá-la na sua escola, ou seja, é uma proposta adaptável à realidade das escolas públicas e essas sugestões estão no material do professor do produto educacional.

A prática de se prever os resultados de um experimento mostrou-se muito eficiente, como indicam várias pesquisas apresentadas ao longo deste trabalho. Os alunos se comprometeram com todas as atividades, seja ela virtual ou experimental utilizando o aparato construído especialmente para a atividade. Os alunos procuraram ao longo das atividades dar respostas e explicações para os questionamentos da sequência didática.

Foi possível discutir os conhecimentos prévios incorretos, surgidos ao longo da atividade dos alunos com o professor, que era o agente mais capaz no processo, sempre de maneira que o aluno pudesse entender, sendo que, pelos pressupostos teóricos de Vygotsky, a complexidade de uma explicação

não deve ultrapassar as barreiras cognitivas dos estudantes. As condições para alcançar o objetivo de se modificar as concepções prévias dos alunos vindos do ambiente cultural que o estudante está inserido para concepções cientificamente corretas foi satisfatoriamente bem construído, desde a primeira fase onde trabalhamos inicialmente o conceito de ondas, que para muitos a definição era vaga, até a etapa final com o desafio da medição da espessura do fio de cabelo.

Foi possível verificar que houve sim mudanças nas suas crenças e aquisição de novos conhecimentos ao longo de todas as atividades. Durante todo o processo, os alunos se mostraram participativos na atividade, embora estivessem interessados também na avaliação feita pelo professor que serviria para a nota final do bimestre.

A metodologia da sequência didática permitiu um maior diálogo e uma reflexão sobre o assunto trabalhado. Talvez a maior dificuldade do ensino hoje seja perceber que o aluno tem uma percepção diferente do professor, mas uma coisa é inegável, os métodos de ensino precisam ser modificados. É para isso que trabalhos como este estão sendo elaborados, para refletir uma nova maneira de se ensinar física, principalmente o tópico da óptica ondulatória, que permite inserir conceitos desde a mecânica clássica até a física moderna, como por exemplo, o caráter dual da luz, abrindo novas possibilidades e ampliação dos horizontes dos alunos.

As pesquisas mostram que as inserções de novas estratégias no ensino aprendizagem surtem mais efeito do que as aulas ministradas somente de forma tradicional. Há um crescente número de artigos que tratam dos fenômenos ondulatórios destacados no presente trabalho, principalmente atividades de baixo custo e que sirvam para preencher as lacunas dos livros-

texto. Essas mudanças levam tempo e exigem esforços, pois a estrutura ensino-aprendizagem é muito complexa. O papel do professor na atividade requer esforço, mudança de postura por parte também do docente, pois o professor não é mais quem detém os caminhos a serem seguidos e sim constrói e orienta a aprendizagem na perspectiva de fazer junto com o discente.

O experimento por si só já é uma linguagem simbólica, visual e gestual quando complementa a oral, e pode indicar possíveis dúvidas dos estudantes. É um auxiliar do professor para explicar o conteúdo a ser trabalhado e facilitar a compreensão dos conceitos. Além do professor, é claro, o aparato experimental funciona como um mediador do processo a ser construído. No nosso trabalho optamos por colocar o aluno a manipular o experimento, em vez de simplesmente assistir uma demonstração experimental, para que ocorresse uma maior interação social na sala de aula, seja entre os alunos, entre os alunos e o material, como também entre aluno e professor numa perspectiva Vygotskiana.

Em resumo, estou ciente que precisamos estimular os nossos alunos a trabalhar em equipe e a aprender física, mostrar que os conceitos físicos estão ao alcance deles e presentes no seu cotidiano. Agir assim, é assinalar caminhos para a aprendizagem efetiva dos estudantes. O papel do professor é conduzir os assuntos e interagir com os estudantes, mas para isso é indispensável que o docente se qualifique, tornando-se muito mais um interlocutor, motivador e condutor de atividades do que uma pessoa que dita regras prontas a serem seguidas.

Ao longo de todo o curso do mestrado percebi que eu era um mero reprodutor de conteúdo do livro didático e/ou apostilas. Minhas estratégias docentes, que achava suficiente, estavam estáticas no tempo. Aprendi e

estou aprendendo a ser inovador, questionador, um crítico fundamentado em teorias de aprendizagem, um buscador de novas estratégias de ensino e a ser pesquisador. Tudo isso para que eu possa saber preparar minhas atividades de sala de aula, saber direcionar as atividades com os alunos e, saber avaliar.

Enfim, posso dizer que sou um novo profissional após a capacitação do mestrado em ensino de física, pois este ampliou os meus conhecimentos, modificou minha forma de ensinar física, mostrou que é possível inovar o método tradicional de ensino através de estratégias que quando trabalhada adequadamente - e isso depende do professor - pode funcionar e melhorar a aprendizagem na sala de aula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M. S. T. de; ABIB, M. L. V. dos S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 25, n. 2, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 50, 72 e 74.

ARRUDA, S. de M.; SILVA, M. R. da; LABURÚ, C. E. Laboratório didá de física a partir de uma perspectiva kuhniana (didactical physics laboratory from a kuhnian perspective). *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 6, n. 1, p. 97–106, 2001. Citado na página 50.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. [S.l.]: Interamericana, 1980. Citado na página 56.

AZEVEDO, M. C. P. S. de. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. *Ensino de Ciências-unindo a pesquisa e a prática*, Cengage Learning Editores, p. 19, 2004. Citado na página 24.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. tradução de luís antero reto e augusto pinheiro. *Lisboa: Edições*, v. 70, 1977. Citado 3 vezes nas páginas 77, 79 e 80.

BASSALO, J. M. F. Fresnel: O formulador matemático da teoria ondulatória da luz. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 5, n. 2, p. 79–87, 1988. Citado na página 46.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 291–313, 2002. Citado na página 24.

BRASIL. Parâmetros curriculares nacionais. matemática e suas tecnologias. *Brasília: MEC/SEF*, 1997. Citado 3 vezes nas páginas 19, 22 e 31.

BRASIL, M. Parâmetros curriculares nacionais (ensino médio). *Brasília: Ministério da Educação*, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 52.

BRASIL, M. Pcn+ do ensino médio: orientações educacionais complementares aos pcn. *Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias.. Brasília: MEC*, p. 59–86, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 29.

CATELLI, F.; VICENZI, S. Transformando um laser de diodo para experimentos de óptica física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, p. 319–331, 2004. Citado na página 76.

CHEVALLARD, Y. On didactic transposition theory: Some introductory notes. In: *SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE DOMÍNIOS SELECIONADOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, Bratislava, Czechoslovakia*. [s.n.], 1988. Disponível em: <http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=122>. Citado 2 vezes nas páginas 51 e 63.

COHEN, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 1988. Citado na página 108.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. *Lições de Física*. [S.l.]: Editora Bookman, 2008. v. 1. Citado na página 39.

FILHO, D. B. F.; JUNIOR, J. A. S. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de pearson (r). *Revista Política Hoje*, v. 18, n. 1, 2010. Citado na página 108.

FRANCISCO, W. E. J.; FERREIRA, L. H.; HARTWIG, D. R. Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de ciências. *Química Nova na Escola*, v. 30, n. 4, 2008. Citado na página 23.

FRANCO, M. L. P. B. *Análise de Conteúdo: abordagens qualitativas*. [S.l.]: Liber Livros Editora Ltda, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 78, 79 e 80.

FREIRE, P. Educação "bancária" e educação libertadora. *MHS Patto, Introdução à Psicologia Escolar*, p. 61–78, 1997. Citado na página 24.

GADDIS, B. Learning in a virtual lab: Distance education and computer simulations. *Learning in a Virtual Lab: Distance Education and Computer Simulations*, 2000. Citado na página 25.

GASPAR, A. Física série brasil. *São Paulo: Ática*, 2004. Citado na página 32.

GASPAR, A. *Compreendendo a Física*. [S.l.]: Ática, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 40.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. d. C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de vygotsky. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 10, n. 2, p. 227–254, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 55.

GIANI, K. *A experimentação no ensino de Ciências: possibilidades e limites na busca de uma aprendizagem significativa*. Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, 2010. Citado na página 23.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química nova na escola*, v. 10, n. 10, p. 43–49, 1999. Citado na página 23.

GRISA, A. M. C. et al. An interactive experiment—“atomística” atomística-uma experiência interativa. 2008. Citado na página 30.

LEITÃO, U. A.; PINTO, A. de C. Interatividade e transposição didática com recursos do moodle: uma proposta de critérios de análise. *Teoria e Prática da Educação*, v. 16, n. 1, p. 57–70, 2014. Citado na página 51.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. [S.l.]: Editora Pedagógica e Universitária, 1986. Citado na página 78.

MARTINSI, M. C. Situando o uso da mídia em contextos educacionais. Citado na página 28.

MELO, F. G.; AMORIM, J.; ROSA, B. Abordagens educacionais e desenvolvimento de recursos educativos digitais para o ensino da matemática. In: ATAS DO II CONGRESSO INTERNACIONAL TIC E EDUCAÇÃO. [S.l.], 2012. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 30.

MILLMAN, J. Data analysis. In: CONFERÊNCIA CONVIDADA PROFERIDA NO SIMPÓSIO NACIONAL DE PROFESSORES DE PESQUISA EDUCACIONAL, ST. LOUIS, USA. [S.l.], 1970. Citado na página 81.

MIZUKAMI, M. d. G. N. *Ensino: as abordagens do processo*. [S.l.]: Editora Pedagógica e Universitária, 1986. Citado na página 24.

MOREIRA, M. Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A teoria da aprendizagem significativa. *Porto Alegre-RS*, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 57.

MOREIRA, M. A. *Linguagem e aprendizagem significativa*. 2003. Conferência de encerramento do IV Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Maragogi, AL, Brasil. Acessado em 21 de janeiro de 2016. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/~moreira/linguagem.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 55 e 56.

MOREIRA, M. A. Pesquisa em ensino: aspectos metodológicos. *Actas del PIDEC: Programa internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias*, v. 5, p. 101–136, 2003. Citado na página 78.

MOREIRA, M. A. *Metodologias de Pesquisa em Ensino*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, São Paulo, 2011. 242 p. Citado 4 vezes nas páginas 81, 82, 83 e 104.

MOSKOVITZ, C.; KELLOGG, D. Inquiry-based writing in the laboratory course. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 332, n. 6032, p. 919–920, 2011. Citado na página 50.

PEREIRA, B. B. Experimentação no ensino de ciências e o papel do professor na construção do conhecimento. *Cadernos da FUCAMP*, v. 9, n. 11, 2010. Citado na página 23.

PIAGET, J.; CHOMSKY, N. *Teorias da linguagem; teorias da aprendizagem*. [S.l.]: Edições 70, 1987. Citado na página 26.

RIBEIRO, J.; VERDEAUX, M. Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 4, p. 4403.1 – 4403.10, 2012. Citado na página 25.

ROSA, C. T. W. da; ROSA, A. B. Ensino de física: objetivos e imposições no ensino médio. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, Universidade de Vigo, v. 4, n. 1, p. 2, 2005. Citado na página 24.

ROSA, C. T. W. da; ROSA, A. B. D. Ensino da física: tendências e desafios na prática docente. *Revista Iberoamericana de Educación*, Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura, OEI, v. 43, n. 1, p. 3, 2007. Citado na página 18.

SOKOLOFF, D. R. Active learning of introductory optics: Strategies for the us and the developing world. *Lat. Am. J. Phys. Educ. Suppl. I*, n. 16, p. 16–22, 2012. Citado 5 vezes nas páginas 21, 22, 29, 57 e 58.

SOKOLOFF, D. R.; THORNTON, R. K. *Tools for Scientific Thinking: Motion and Force: Teacher's Curriculum Guide*. [S.l.]: Vernier Software, 1990. Citado na página 57.

SOKOLOFF, D. R.; THORNTON, R. K. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher*, v. 35, p. 340–347, 1997. Citado na página 53.

VICENZI, S. *Difração e Interferência para Professores do Ensino Médio*. (Dissertação de Mestrado Profissional) Instituto de Física. — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 29, 30 e 32.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. [S.l.]: Martins Fontes, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 55.

VYGOTSKY, L. S. *A construção do Pensamento e da Linguagem*. [S.l.]: Martins Fontes, 2007. Citado na página 54.

YAMAMOTO, I.; BARBETA, V. B. Simulações de experiências como ferramenta de demonstração virtual em aulas de teoria de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 23, n. 2, p. 215, 2001. Citado na página 52.

APÊNDICES

APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA: MATERIAL DO ALUNO

A.1 Roteiro 1 – Primeira Etapa

Roteiro para o Aluno – Primeira etapa

Escola:

Professor:

Grupo:

Alunos:

Data:

Roteiro de aula usando o simulador Interferência de Ondas do PhET.

Atividade



Figura 20 – Imagem ilustrativa de onda no mar.

Ondas são fenômenos muito presentes em nosso dia a dia. As ondas de água no mar se propagam pelo oceano e quebram na praia! Ondas de

luz se propagam pelo espaço trazendo informações sobre as estrelas. Vamos, neste conjunto de atividades, descobrir o fenômeno da difração e interferência que é característico das ondas.

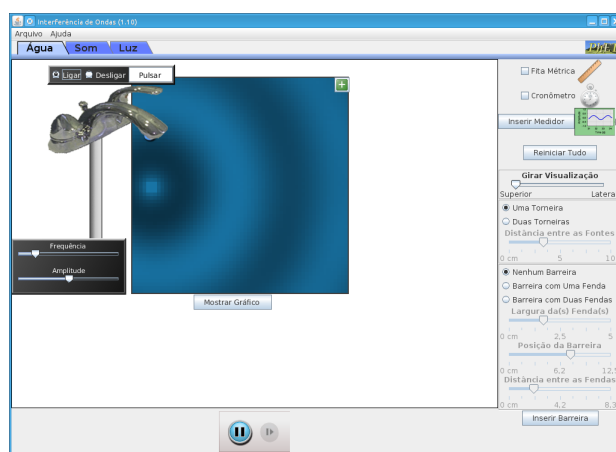


Figura 21 – Janela do simulador Interferência de ondas do PhET.

Nesta primeira fase vamos utilizar a simulação de interferência do PhET <http://phet.colorado.edu/sims/wave-interference/wave-interference_pt.jnlp>. O aplicativo já está instalado nos computadores. Peça ajuda ao professor para iniciá-lo. Dedique um tempo para que você se familiarize com todos os recursos do simulador. No simulador, é possível trabalhar as ondas mecânicas (abas água e som) e ondas eletromagnéticas (aba luz).



Figura 22 – Abas de opções de tipos de ondas disponível no simulador Interferência de ondas do PhET.

Instruções

Comece explorando a aba **Água**. No painel a direita, estão disponíveis várias ferramentas, que possibilitam modificar a frequência, a amplitude, a

inserção de medidores e gráficos, inserção e alteração da distância entre as fendas. Assim, é possível visualizar o gráfico da amplitude da onda em função do tempo e o gráfico amplitude em função da posição. Algumas propriedades do painel podem mudar à medida que as abas são selecionadas.

Siga os passos:

1) Escolha a aba Água.

A) Deslize o cursor da Frequência até a metade, como mostra a figura abaixo. Dê pausa.

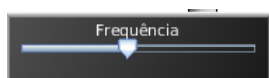


Figura 23 – Controle de frequência da onda.

A1) Insira o medidor Fita métrica. Posicione a Fita métrica entre duas regiões de faixas escuras (vale) ou faixas claras (cristas), como na figura. Anote o valor encontrado. Esse valor é o mesmo para as faixas claras e escuras?

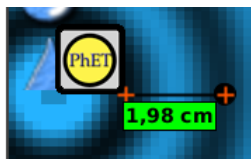
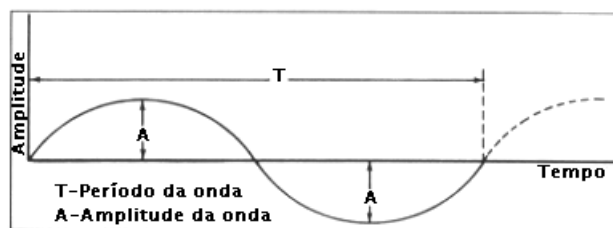
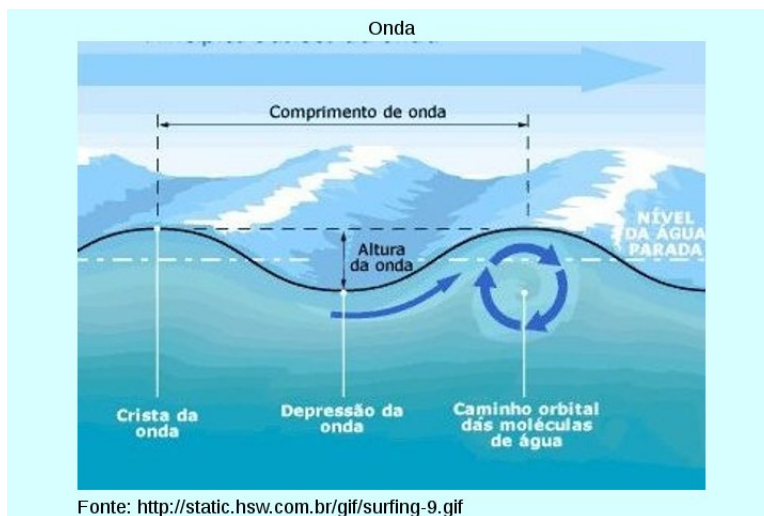


Figura 24 – Controle medidor (Fita métrica).

A2) Ative o gráfico clicando no botão mostrar gráfico. Com a fita métrica verifique agora a distância entre duas cristas no gráfico nível da água x posição. O valor encontrado foi o mesmo encontrado no item anterior?

Observação: Essa distância entre duas faixas claras ou escuras (vales e cristas) é denominada comprimento de onda.



A3) Faça previsões do que vai acontecer com a distância entre as cristas no gráfico nível da água x posição, se modificarmos a frequência?

Mova o cursor da frequência até o valor máximo, observe agora o gráfico do nível da água x posição. Que diferenças você consegue observar? Use a fita métrica para comparar.

A4) Agora com o cursor da frequência no seu valor máximo, adicione o detector. Ele apresenta o nível da água em função do tempo. Observe o comportamento das oscilações. Mova o cursor da frequência até a metade. Que diferenças você nota? O que mudou em relação a situação inicial? O que significa neste caso a diferença entre a posição das cristas? Você pode pausar a simulação.

A5) Diminua a Frequência para um valor próximo do mínimo. E agora, o que você observa com o comprimento de onda e com o período nos dois gráficos nível da água x posição e nível da água x tempo?

A6) De acordo com as suas observações, existe alguma relação da frequência com o tempo de oscilação da onda? Tente explicar.

A7) Estabeleça uma relação entre a frequência e o comprimento de onda. Lembre-se que a onda se desloca de um comprimento de onda no intervalo de tempo igual ao período de oscilação.

B) Na aba água e com a frequência até a metade, coloque agora uma barreira com uma fenda.

O que vai acontecer com as ondas na água ao incidir nessa barreira

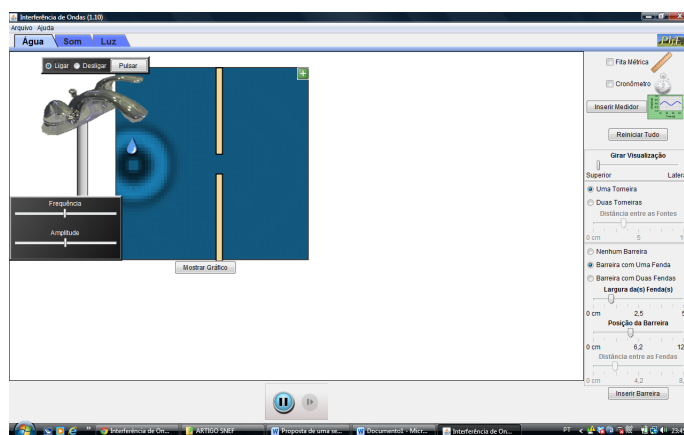


Figura 25 – Janela do simulador de ondas em água com uma fenda

com uma fenda? E se modificarmos a largura da fenda, o que você observa? Anote suas observações.

C) Na mesma aba água, repita a simulação com duas fendas. Faça a simulação e anote suas observações. O que se modificou quando foram colocadas duas fendas?

D) E se aumentarmos o tamanho das mesmas? As ondas espalham mais ou menos? Encontre pontos onde pode estar ocorrendo um máximo e um mínimo.

E) Com o detector verifique se é possível encontrar pontos na água



Figura 26 – Janela do simulador de ondas em água com duas fendas

em que não há movimentação. Anote suas observações.

F) Acesse o painel para a luz e para uma mesma cor.

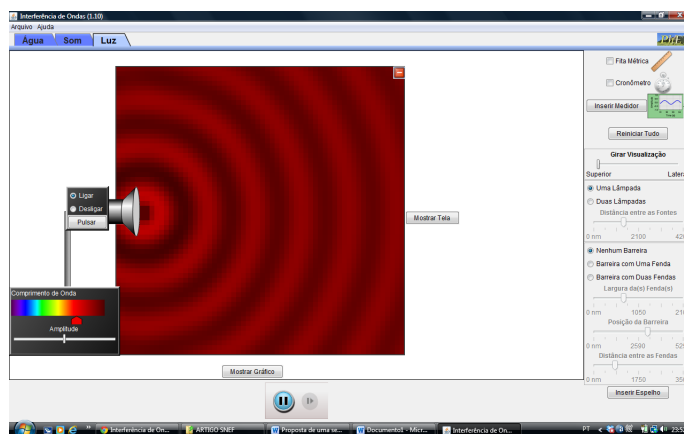


Figura 27 – Janela do simulador para a luz

Faça a simulação com uma fenda, o que você observa? Altere a localização da fenda e também a sua largura. Você nota alguma diferença?

As ondas espalham mais ou menos?

G) Agora faça com duas fendas. Você pode alterar largura, localização e separação das fendas. Há alguma semelhança com o padrão das ondas na água? Tente justificar sua resposta.

H) Na aba luz, insira o botão mostrar tela. Descreva o que você observa nesta tela com uma fenda e depois com duas fendas. Existe alguma diferença quando você altera a largura das fendas? O que você consegue observar de diferente na tela? Registre as suas observações.

I) Observando a tela, o que significa para você os pontos claros e escuros na tela? Insira o detector, o que você observa com a onda nos pontos claros e escuros?

J) Com base em suas observações anteriores, como você explica a formação de pontos claros e escuros na tela? Podemos dizer que a luz é uma onda? Tente justificar sua resposta.

A.2 Roteiro 2 – Segunda Etapa

Roteiro para o Aluno – Segunda etapa

Escola:

Professor:

Grupo:

Alunos:

Data:

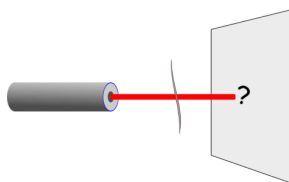
Difração da Luz

Objetivo: Estudar a natureza da luz e sua interação com corpos opacos.

Questionamento e previsão de resultado

Parte I: Fio de cabelo

1) Considere a montagem apresentada pelo professor. Ao colocarmos um fio de cabelo na frente de um feixe de laser, o que você espera ver na tela colocada a frente do laser?



Roteiro para o Aluno – Segunda etapa

Escola:

Professor:

Grupo:

Alunos:

Data:

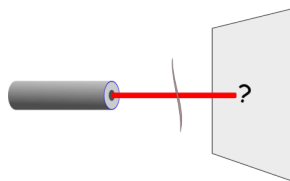
Difração da Luz

Objetivo: Estudar a natureza da luz e sua interação com corpos opacos.

Experimento

Parte II

Realize o experimento. Ajuste um fio de cabelo para que seja atingido pelo laser. O que você observa na tela a uns dois metros do aparelho? Descreva em detalhes suas observações.



Roteiro para o Aluno – Segunda etapa

Escola: _____ Professor: _____ Grupo: _____

Alunos: _____

Data: _____

Difração da Luz**Objetivo:** Estudar a natureza da luz e sua interação com corpos opacos.**Discussão e análise do experimento****Parte III**

O que você observou foi o que você esperava? Como você explicaria o que você observou? Qualitativamente, como você poderia prever o que foi observado?

Roteiro para o Aluno – Segunda etapa

Escola:

Professor:

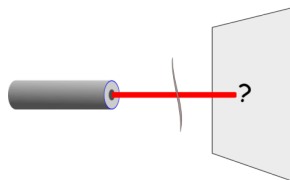
Grupo:

Alunos:

Data:

Difração da Luz**Objetivo:** Estudar a natureza da luz e sua interação com corpos opacos.**Questionamento e previsão de resultado****Parte IV**

Que diferenças você deve observar ao substituir o fio de cabelo por um fio de cobre?



Roteiro para o Aluno – Segunda etapa

Escola:

Professor:

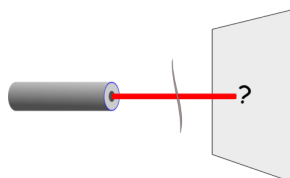
Grupo:

Alunos:

Data:

Difração da Luz**Objetivo:** Estudar a natureza da luz e sua interação com corpos opacos.**Experimento****Parte V**

Realize o experimento da parte IV. Que diferença você observou ao substituir o fio de cabelo por um fio de cobre? Descreva suas observações.



Roteiro para o Aluno – Segunda etapa

Escola:

Professor:

Grupo:

Alunos:

Data:

Difração da Luz

Objetivo: Estudar a natureza da luz e sua interação com corpos opacos.

Discussão e análise do experimento

Parte VI

O que você observou foi o que você esperava? Que diferenças você observou? Como você explicaria o que você observou?

A.3 Roteiro 3 – Terceira Etapa

Roteiro para o Aluno – Terceira etapa

Escola: _____ Professor: _____ Grupo: _____
Alunos: _____

Data: _____

Desafio experimental

Difração e interferência da luz Objetivos

- Entender a superposição de ondas.
- Incentivar a aprendizagem compartilhada.
- Determinar experimentalmente a medida da espessura de um fio de cabelo.

Problematização:

O que acontece quando duas ondas se encontram? O que você observa se as ondas estão em fase, ou seja, se a crista da primeira onda coincide com a crista da segunda onda? O que acontece quando a crista da primeira onda coincide com o vale da segunda?

Observação: Aplicar a atividade utilizando a folha quadriculada e as transparências, para verificação da superposição.

Roteiro para o Aluno – Terceira etapa

Escola: _____ Professor: _____ Grupo: _____

Alunos: _____

Data: _____

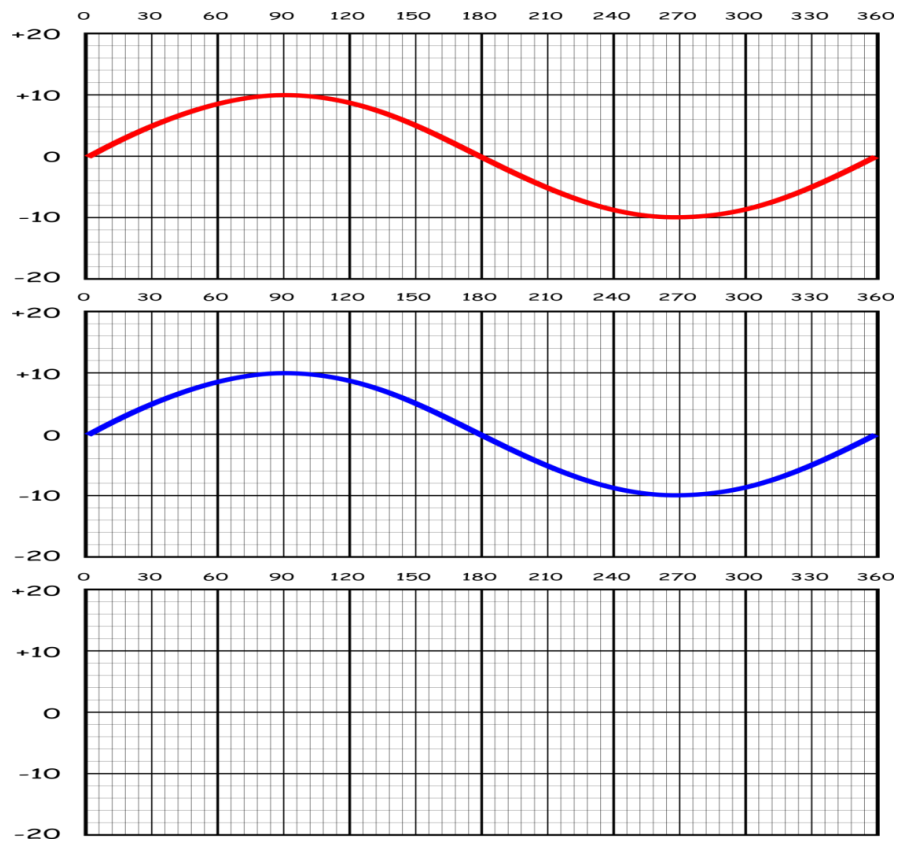
Atividade 1

1) Quando duas ondas se encontram em um ponto, o deslocamento resultante é a soma do deslocamento de cada onda. Chamamos este fenômeno de superposição de ondas. No quadro abaixo temos duas ondas, vermelha e azul, em fase, ou seja, quando os máximos e mínimos ocorrem no mesmo tempo. Manipulando as transparências, desenhe no terceiro quadro abaixo, o que você observa quando as duas ondas se superpõem. Para ajudar, posicione as duas ondas das transparências de forma que as cristas estejam alinhadas entre si.

2) Imagine que duas ondas, inicialmente em fase, percorram caminhos diferentes até chegar ao mesmo ponto P, onde se superpõem. O que você espera que aconteça se a diferença dos caminhos for exatamente um comprimento de onda?

3) O que você espera que aconteça se a diferença dos caminhos for exatamente 2 ou 3 vezes o comprimento de onda?

Quadro de resposta do item 1 – Atividade 1



Roteiro para o Aluno – Terceira etapa

Escola: _____ Professor: _____ Grupo: _____

Alunos: _____

Data: _____

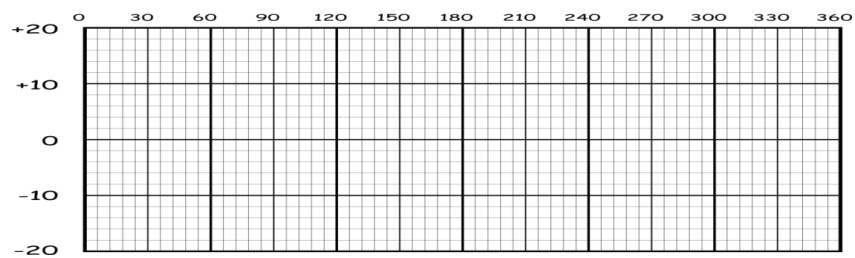
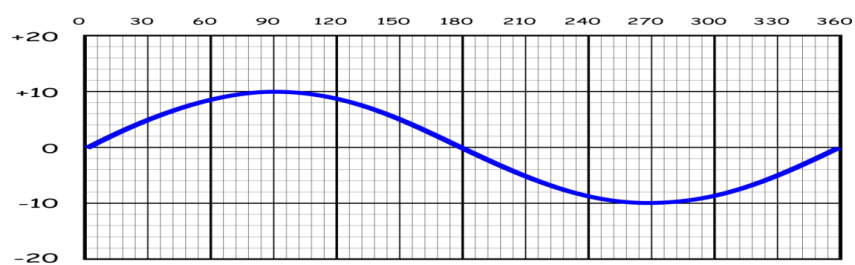
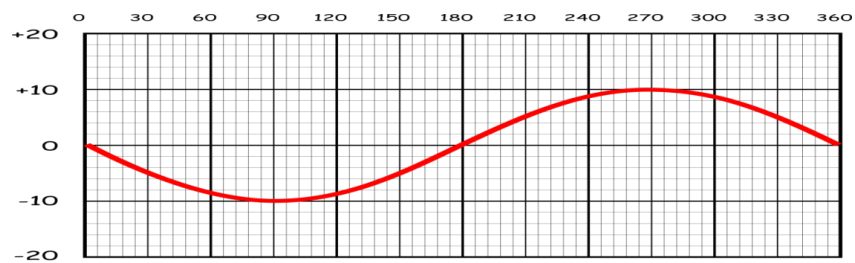
Atividade 2

1) No quadro abaixo temos duas ondas, uma vermelha e outra azul, em oposição de fase, ou seja, o máximo de uma onda (crista) coincide com o mínimo (vale) da segunda onda. Manipulando as transparências, desenhe no terceiro quadro abaixo, o que você observa quando ocorrer a superposição das ondas. Para ajudar, posicione as duas ondas das transparências de forma que as cristas estejam alinhadas com os vales.

2) Imagine que duas ondas, inicialmente em fase, percorram caminhos diferentes até chegar ao mesmo ponto P onde se superpõem. O que você espera acontecer se a diferença dos caminhos for exatamente meio comprimento de onda?

3) O que você espera que aconteça se a diferença dos caminhos for exatamente $3/2$ ou $5/2$ de comprimento de onda?

Quadro de resposta do item 1 – Atividade 2



Roteiro para o Aluno – Terceira etapa

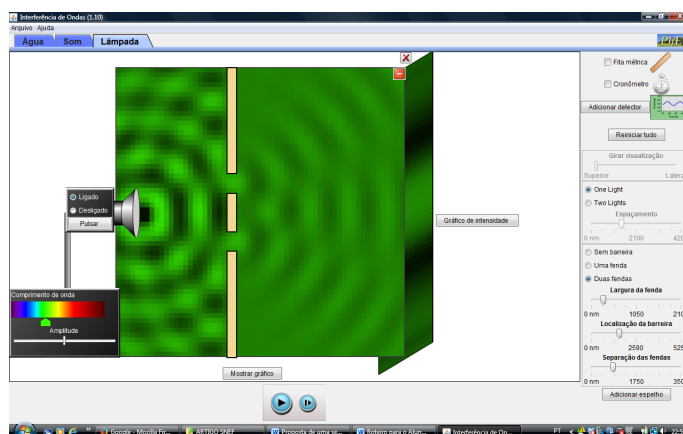
Escola: _____ Professor: _____ Grupo: _____

Alunos: _____

Data: _____

Atividade 3

Na atividade do PhET, quando você utilizou duas fendas e a luz passou por elas, como mostra a figura abaixo, apareceu na tela, regiões de máximos (faixas claras) e de mínimos (faixas escuras). Como você explicaria, através da superposição de ondas a formação dessas regiões?



Roteiro para o Aluno – Terceira etapa

Escola: _____ Professor: _____ Grupo: _____

Alunos: _____

Data: _____

Atividade 4

Medir a espessura de um fio de cabelo

Para atingir um determinado ponto P do espaço as ondas provenientes do fio de cabelo percorrem caminhos diferentes como visto anteriormente. Encontre a espessura de um fio de cabelo.

Materiais necessários

- Uma fonte laser pequena, de comprimento de onda conhecido (pode-se usar um apontador laser vermelho ou verde, e um anteparo);
- Um fio de cabelo;
- Uma folha de papel em branco e uma milimetrada;
- Aparato experimental (Figura 28);
- Fita adesiva.



Figura 28 – Aparato experimental.

Observação: esse material é para um grupo de estudantes.

Procedimento:

- renda um fio de cabelo no suporte do aparato experimental, alinhe-o adequadamente com o laser até você observar um padrão de interferência no anteparo (parede ou folha milimetrada).
- Verifique na caneta laser o comprimento de onda (λ) da luz utilizada.
- No anteparo, medir as distâncias entre os pontos escuros ou pontos claros da figura de difração.
- Medir a distância do anteparo até o fio de cabelo.
- De posse das medidas acima e comparando com a relação matemática trabalhada pelo professor.

Determine a espessura e do fio de cabelo colocado no suporte.

CUIDADO! Não incida a luz do Laser no olho, pois ela é muito intensa e pode causar danos irreversíveis à retina.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DOS ALUNOS

Roteiro para o Aluno – Primeira etapa

Escola:

Professor:

Aluno:

Data:

Teste de avaliação

Todas as questões são obrigatórias e devem ser respondidas, Neste curso... Dê uma nota de 1 a 5 dependendo de seu grau de concordância com a afirmativa.

Discordo Totalmente

Concordo Plenamente

1.....2345

Relevância da atividade

1-A atividade especial sobre Refração da luz abordou a temática de forma interessante.	
2-Considero que o que eu aprendi é importante para minha formação.	
3-Na atividade especial eu aprendi um pouco mais de como melhorar o meu estudo.	
4-O que eu aprendi na atividade pode ser aplicado em minha vida diária.	

Reflexão Crítica

5 – A atividade me fez refletir como eu estudo e aprendo.	
6 – A atividade me fez refletir sobre minhas próprias ideias.	
7 – A atividade me fez refletir sobre as ideias dos outros participantes.	
8 – A atividade me fez refletir sobre os conteúdos abordados.	

Interatividade

Nessa atividade eu:

9 – Tive oportunidade de explicar as minhas ideias aos outros participantes.	
10 – Tive oportunidade de ouvir explicações dos outros participantes.	
11 – Observei que os outros participantes aceitaram as minhas ideias.	
12 – Observei que os outros participantes reagiram às minhas ideias.	

Apoio do professor e orientação da atividade

Com referência ao texto da sequência didática e ao professor

13 – Eles me estimularam a refletir sobre os conteúdos.	
14 – Eles me encorajam a participar das atividades.	
15 – Eles ajudaram a melhorar a qualidade das atividades.	
16 – Eles ajudaram a melhorar o processo de reflexão.	

Apoio dos Colegas

17 – Os outros participantes me encorajam a participar.	
18 – Os outros participantes elogiaram as minhas contribuições.	
19 – Os outros participantes discutiram as minhas contribuições.	
20 – Os outros participantes demonstraram empatia quando me esforcei para aprender.	

Compreensão

21 – Eu compreendi bem a descrição das tarefas das atividades.	
22 – Os outros alunos compreenderam bem as minhas explicações.	
23 – Eu compreendi bem as explicações dos outros alunos.	
24 – Eu compreendi bem as explicações do professor.	

Metodologia

25 – As minhas previsões foram sempre comprovadas na etapa de realizar as experiências.	
26 – Eu achei que a estratégia de prever os resultados antes da observação é muito estimulante.	
27 – Eu achei que a estratégia de prever os resultados antes da observação foi importante para eu refletir e mudar minha concepção sobre os conceitos envolvidos.	
28 – Eu compreendi bem as diferenças entre o que eu previ e o que eu observei nas atividades.	

O que mais você gostaria de comentar sobre a atividade desenvolvida?

