

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

JAQUELINE ANDREIA TAFAREL

**LUZ ALÉM DA ESCURIDÃO - UMA PROPOSTA DE ENSINO DA NATUREZA
ONDULATÓRIA DA LUZ PARA ALUNOS CEGOS**

**MEDIANEIRA
2020**

JAQUELINE ANDREIA TAFAREL

LUZ ALÉM DA ESCURIDÃO - UMA PROPOSTA DE ENSINO DA NATUREZA
ONDULATÓRIA DA LUZ PARA ALUNOS CEGOS

Light beyond darkness - A proposal for teaching the wave nature of light to
visually impaired students

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Professor Dr. Fabricio Tronco Dalmolin
Coorientador: Professora Dra. Shiderlene Vieira de Almeida

MEDIANEIRA
2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira



JAQUELINE ANDREIA TAFAREL

**LUZ ALÉM DA ESCURIDÃO - UMA PROPOSTA DE ENSINO DA NATUREZA ONDULATÓRIA DA LUZ
PARA ALUNOS CEGOS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra Em Ensino De Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Física Na Educação Básica.

Data de aprovação: 17 de Dezembro de 2020

Prof Fabricio Tronco Dalmolin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Leandro Herculano Da Silva, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Luiz Fernando De Araujo Ferrao, Doutorado - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (Ita)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 17/12/2020.

Esta conquista é dedicada a você, familiar
e amigo, pelo incentivo e paciência
naqueles dias tão atarefados que
precederam a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção em todas as viagens.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Fabrício Tronco Dalmolin, pela amizade, incentivo e sabedoria com que me orientou nesta trajetória e por todo conhecimento compartilhado.

À minha Coorientadora Prof. Dra. Shiderlene Vieira de Almeida por todas as contribuições feitas para a melhoria do meu trabalho e pela amizade construída no decorrer do curso. Professora que sempre estava disposta a ouvir as angústias dos alunos e tranquilizar a todos.

Ao Prof. Dr. Leandro Herculano da Silva, por todo conhecimento compartilhado para elaboração dos recursos didáticos desenvolvidos neste trabalho.

Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Polo UTFPR, Campus Medianeira, pelos ensinamentos e cooperação.

Aos meus colegas de mestrado pelas experiências compartilhadas e aos valorosos momentos que passamos juntos.

Aos coordenadores do curso pelas informações e cooperação.

Ao meu esposo Romar, pela paciência e incentivo no decorrer deste processo.

Ao meu irmão Márcio, por todo auxílio prestado na produção das imagens e construção do material.

À secretaria de pesquisa e pós graduação da UTFPR Campus Medianeira, pela cooperação.

Às alunas Simone e Sabrina que contribuíram significativamente para a realização deste trabalho

Aos meus colegas de trabalho por todo incentivo, palavras de apoio e solidariedade prestadas a mim nesta fase.

Aos meus alunos, razão de ser para minha profissão e aperfeiçoamento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A humanidade necessita de homens práticos, que tirem o maior proveito do seu trabalho, sem se esquecerem do interesse geral: salvaguardar os seus próprios interesses. Contudo, a humanidade, também, necessita de sonhadores, para quem o realizar de uma tarefa seja tão cativante, que a impossibilite de dar atenção ao seu próprio benefício. (CURIE, Marie)

RESUMO

TAFAREL, Jaqueline Andreia. **Luz além da escuridão – uma proposta de ensino da natureza ondulatória da luz para alunos cegos**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020.

Este trabalho apresenta uma proposta de ensino de Física voltada à inclusão educacional de alunos deficientes visuais no intuito de efetivar o processo de ensino e aprendizagem do conceito de Luz como onda eletromagnética. Para isso consideramos que o deficiente visual está na mesma condição das pessoas que enxergam, pois a propagação da onda eletromagnética não é “visualizada”, mas seus efeitos são percebidos por diferentes sentidos, não somente através da visão. Neste intuito, foi desenvolvido um produto educacional com recursos didáticos táteis – visuais – auditivos, que possam contribuir para a aprendizagem de todos os alunos, deficientes visuais ou videntes, de acordo com a proposta da didática multissensorial. Estes recursos estão indicados numa proposta didática pedagógica que está apresentada como um texto de apoio ao professor. Essa proposta, na forma como está indicada para ser desenvolvida, foi embasada na Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e no Interacionismo de Vygotsky. Apesar de ser uma proposta pedagógica para o professor, salienta-se que todos os recursos didáticos desenvolvidos foram aplicados e validados por duas alunas cegas de escolas públicas de um município da região sudoeste do estado do Paraná. A validação foi positiva para todos os recursos, e as alunas salientaram que os mesmos contribuem de forma efetiva para a aprendizagem dos conceitos físicos pretendidos.

Palavras-chave: Ensino de Física, Luz, Onda eletromagnética, Deficientes Visuais, Recursos Didáticos.

ABSTRACT

TAFAREL, Jaqueline Andreia. **Light beyond darkness - A proposal for teaching the wave nature of light to visually impaired students**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020.

This paper presents a proposal for teaching Physics aiming the educational inclusion of visually impaired students, in order to affect the process of teaching and learning the concept of Light as an electromagnetic wave. For this reason, we consider that the visually-impaired students have the same resources as the other students, since the propagation of the electromagnetic wave is not “visualized”, but its effects are perceived by different senses, not only through the vision. To this end, an educational product was developed with tactile - visual-auditory teaching resources, which can contribute to the learning of all students, visually impaired or visionaries, according to the proposal of multisensory didactics. These resources are indicated in a didactic pedagogical proposal that is presented as a text to support the teacher. This proposal, as it is indicated to be developed, was based on Ausubel's Theory of Meaningful Learning and Vygotsky's Interactionism. Although it is a pedagogical proposal for the teacher, it should be noted that all didactic resources developed were applied and validated by two visually-impaired students from public schools in a southwestern county in the state of Paraná. The validation was positive for all resources, and the students pointed out that they contribute effectively for learning the intended physical concepts.

Keywords: Teaching Physics, Light, Electromagnetic Wave, Visually Impaired, Didactic Resources, Multisensory Didactics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação vetorial de uma onda transversal, o campo elétrico E e magnético B, em cada ponto, oscilam e se mantêm perpendiculares à direção de propagação da uma onda eletromagnética.	23
Figura 2: Onda se propagando no sentido positivo do eixo x, com indicação das componentes – amplitude máxima, comprimento de onda e período de oscilação.	24
Figura 3: Experimento de Young - a luz monocromática incidente é difratada pela fenda S_0 que pode ser considerada uma fonte luminosa pontual que emite frentes de onda semicirculares. No anteparo B a luz é difratada ao passar pelas outras duas fendas S_1 e S_2 . Quando as ondas deixam estas fendas, elas se combinam e sofrem interferência, formando um padrão de interferência com máximos e mínimos que pode ser observado na tela C.	33
Figura 4: Interferência – este é um exemplo de interferência produzida através de duas torneiras gotejando água, apresentam o mesmo fenômeno que representado na figura 3 para a luz. É possível verificar a emissão das ondas por cada uma das torneiras e as mesmas se combinando e formando um padrão de interferência, com máximos e mínimos.	34
Figura 5: Superposição de ondas – interferência construtiva quando a crista de uma onda se superpõe a crista de outra onda e seus efeitos individuais se somam resultando numa onda com maior amplitude. E na interferência destrutiva a crista de uma onda se superpõe ao vale de outra e seus efeitos são reduzidos pois estão fora de fase uma em relação à outra.	38
Figura 6: Recurso I – apresentação da propagação de uma onda em alto relevo, com a representação em braile dos períodos de propagação.	43
Figura 7: Um período Completo de Oscilação – Recurso I	44
Figura 8: Dois comprimentos e meio de Onda – Recurso I	44
Figura 9: Recurso III – representa a imagem de um piano virtual com as notas musicais utilizadas na demonstração aos alunos.	45
Figura 10: Frequência das Notas Musicais em Relação a Frequência das ondas de luz e suas cores	46
Figura 11: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical SOL, com volumes diferentes, em 100% e 50%.	48
Figura 12: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical FA, com volumes diferentes, em 100% e 50%.	48
Figura 13: Maquete da onda eletromagnética	50
Figura 14: Vista parcial e aproximada Maquete da onda eletromagnética	50
Figura 15: Recurso V (Versão I)	52
Figura 16: Recurso V - Arduíno (Versão II)	52
Figura 17: Representação do Fenômeno de Interferência Ondulatória	53
Figura 18: Utilização do Recurso I com Alunas com Deficiência Visual (da esquerda para a direita Aluna A e Aluna B)	59
Figura 19: Aluna A montando o quebra cabeças, iniciou a montagem, não na origem dos eixos ou zero, mas da última peça do quebra-cabeça.	60

Figura 20: Aluna A montando um comprimento e meio de onda.....	60
Figura 21 - Aluna B montando um comprimento e meio de onda.....	61
Figura 22 - Aluna B montando a oscilação completa e explicando cada uma das peças	61
Figura 23: Aluna A fazendo o reconhecimento e leitura das notas musicais	63
Figura 24: Aluna B fazendo o reconhecimento e leitura das notas musicais	63
Figura 25 - Papel vegetal sobre a imagem retirada da tela para reprodução do desenho.....	65
Figura 26 - Imagem reproduzida no papel vegetal	65
Figura 27 - Imagem reproduzida no papel vegetal com alto relevo feito de cola quente	66
Figura 28: Aluna A reconhecendo a maquete do Recurso IV	68
Figura 29: Aluna B reconhecendo a maquete do Recurso IV	68
Figura 30 - Aluna A afastando e aproximando a fonte de luz do sensor de luminosidade	70
Figura 31 - Aluna B fazendo uso do dispositivo e analisando as esferas de diferente raios.....	70
Figura 32 - Aluna A e aluna B Tateando o recurso VI – Fenômeno de Interferência	71
Figura 33 - Aluna B interpretando o recurso VI feito com barbante	72
Figura 34 - Perguntas e Respostas Aluna A: Questionário Pós Teste	73
Figura 35: Recurso 1	9
Figura 36: Um período Completo de Oscilação.....	10
Figura 37: Dois comprimentos e meio de Onda	10
Figura 38: Recurso III	11
Figura 39: Frequência das Notas Musicais em Relação a Frequência das ondas de luz e suas cores	12
Figura 40: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical SOL, com volumes diferentes, em 100% e 50%.	14
Figura 41: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical FA, com volumes diferentes, em 100% e 50%......	15
Figura 42 -Representação do Fenômeno de Interferência Ondulatória.....	18
Figura 43: Reglete e punção.....	20
Figura 44: Onda com marcações em Caneta.....	21
Figura 45: Onda com marcações em Caneta.....	21
Figura 46: Tela inicial do programa, onde foi digitado aquilo que precisa ser transcrito	22
Figura 47: Tela inicial do programa, onde foi digitado aquilo que precisa ser transcrito	22
Figura 48: FrequencyGenerator	23
Figura 49: Tipos de onda possíveis de serem reproduzidos no aplicativo.....	24
Figura 50: Piano Virtual	25

Figura 51: Braille Fácil - exemplo de transcrição	26
Figura 52: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética	29
Figura 53: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética	29
Figura 54: Uso do Arduíno para o ensino de Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia - Montagem.....	31
Figura 55 - Representação do Fenômeno de Interferência da Luz.....	32
Figura 56 - Representação de Interferência na Onda - Impressa.....	33
Figura 57 - Representação da Interferência na Onda em Barbante	33
Figura 58 - Experimento de Young	41
Figura 59 - Superposição de ondas – interferência construtiva e destrutiva.....	44

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Função de Onda	23
Equação 2: Frequência Angular.....	25
Equação 3: Frequência de uma Onda	25
Equação 4: Relação entre Frequência Angular e Frequência da Onda.....	25
Equação 5: Velocidade de uma Onda.....	25
Equação 6 - Velocidade de uma Onda em Função da Frequência	25
Equação 7: Cálculo de vetor de Poynting	27
Equação 8: Média Temporal do Vetor de Point.....	27
Equação 9: Área da Frente Esférica	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 TEORIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM	4
2.2 ABORDAGEM COGNITIVISTA	5
2.3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL	6
2.4 O INTERACIONISMO DE VYGOTSKI E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A INTERAÇÃO EDUCACIONAL JUNTO A PESSOAS COM DEFICIENCIA VISUAL	12
2.5 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA ALIADA A DIDÁTICA MULTISSENSORIAL	16
3 OS LIVROS DIDÁTICOS E A ABORDAGEM DA NATUREZA ONDULATÓRIA DA LUZ	19
4 CONCEITOS FÍSICOS ABORDADOS	22
4.1 CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS	22
4.2 COMPONENTES DE UMA ONDA	23
4.3 ONDA ELETROMAGNÉTICA	26
4.4 VETOR DE POYNTING E O TRANSPORTE DE ENERGIA	27
4.5 LUZ: ONDA ELETROMAGNÉTICA	29
4.6 O EXPERIMENTO DE THOMAS YOUNG	30
4.7 DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA - INDICAÇÃO DE QUE A LUZ É UM FENÔMENO ONDULATÓRIO	36
4.8 MAXWELL E A TEORIA ELETROMAGNÉTICA PARA A LUZ	38
5 PROPOSTA DIDÁTICO PEDAGÓGICA - TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR	40
5.1 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICO PEDAGÓGICA	41
5.1.1 Aula 1: Levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre ondulatória e sobre luz.	41
5.1.2 Aula 2 e 3: Discutindo as propriedades das ondas	42
5.1.3 Aula 4 e 5: Relacionando Sons e Cores	45
5.1.4 Aula 6 e 7: Compreendendo a luz	49
5.1.5 Aula 8: Interferência – uma indicação de que a luz é um fenômeno de natureza ondulatória	53
5.1.6 Aula 9: Avaliação	54
6 RELATO DE EXPERIÊNCIA COM ALUNOS CEGOS: VALIDAÇÃO DOS RECURSOS DIDÁTICOS	55
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
APENDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL	89

1 INTRODUÇÃO

Luz além da escuridão, como ensinar um conteúdo de Física, com tal complexidade, para alunos deficientes visuais? Bem, partiremos da prerrogativa de que a pessoa cega, ou mesmo com baixa visão está na mesma condição que as pessoas com uma visão normal, pois nenhum destes consegue “visualizar” a propagação das ondas eletromagnéticas da luz. A diferença consiste na melhor percepção dos efeitos através dos olhos, mas o cego pode compreender estes efeitos por meio de outros sentidos.

Esse questionamento surgiu da inquietação e necessidade por desenvolver material alternativo para dar suporte a professores de Física do ensino médio que tenham, como eu tive, um aluno cego incluso na sua sala de aula, e muitas vezes estar numa situação de não saber o que fazer para que aquele aluno em específico, aprendesse determinados conteúdos.

Nesta perspectiva, o programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, foi a oportunidade para desenvolver um estudo e um trabalho visando a inclusão destes alunos no processo de ensino e aprendizagem de Física, sem fazer com que o professor se preocupe em preparar algo exclusivo para estes alunos, mas sim um material que dê conta de auxiliar no ensino do conteúdo da Luz como onda Eletromagnética a todos os alunos, independentemente de serem cegos ou videntes.

Isso fica evidente nas palavras de Mantoan:

(...) há diferenças e há igualdades, e nem tudo deve ser igual nem tudo deve ser diferente, (...) é preciso que tenhamos o direito de ser diferente quando a igualdade nos descaracteriza e o direito de sermos iguais quando a diferença nos inferioriza (MANTOAN, 2004: p.7-8).

Este trabalho foi desenvolvido, portanto, com o objetivo de propor recursos didáticos que possibilitem ao aluno deficiente visual, assim como ao aluno vidente, compreender que a luz é uma onda eletromagnética, através da utilização de representações táteis – visuais - auditivas para que compreendam as propriedades das ondas e, aliando os recursos à tecnologia possibilitar a compreensão da natureza ondulatória da luz através da relação entre frequência do som e frequência das cores da luz.

No decorrer da leitura iremos encontrar muitas vezes o termo deficiente visual, portanto este termo deve trazer ao leitor seu significado. De acordo com materiais de apoio ao professor, disponibilizados no Portal do Ministério da Educação (MEC), entende-se por deficiente visual a pessoa com cegueira total ou baixa visão, também chamada de visão subnormal

Neste contexto, os recursos didáticos propostos no texto de apoio ao professor, pode ser construídos e replicados sem a necessidade de conhecimentos avançados, auxiliando o docente no ensino do conteúdo pretendido, à medida que também contribuem para a concretização de uma aprendizagem significativa.

Outra pergunta que merece ser respondida: Por que desenvolver este trabalho?

- a. Necessidade de desenvolver materiais pedagógicos de Física, voltados à inclusão de alunos com deficiência visual total ou parcial;
- b. Aumento na demanda de matrículas de alunos com necessidades educacionais especiais nas escolas regulares de educação básica do Brasil ;
- c. Falta de estrutura física, profissional e pedagógica para garantir a qualidade no processo de inclusão previsto na Meta 4 do Plano Nacional de Educação;
- d. Livros didáticos com ênfase à ótica geométrica, e apresentação do conteúdo da Luz como onda eletromagnética na forma de textos complementares;

Nesta perspectiva, Eder Pires de Camargo professor de Física, já desenvolveu trabalhos e estudos voltados ao Ensino de Física para alunos deficientes visuais e apresenta nas suas redações, dissertações e tese apontamentos que indicam a necessidade de desenvolver mais trabalhos que deem conta desta demanda em ascensão.

“Esperamos ter contribuído com o ensino de física dos alunos com e sem deficiência visual. Esperamos também ter apresentado um conjunto de novas questões que indiquem o caminho para a promoção de inclusão dos alunos com deficiência visual nas aulas de física”.
(CAMARGO, 2015. P. 469-470)

Na tentativa de suprir a toda esta demanda, desenvolvemos seis recursos didáticos os quais foram aplicados de forma individualizada, para duas

alunas cegas do Ensino Médio de diferentes Colégios do município de Francisco Beltrão, sob a supervisão das pedagogas das referidas escolas. A aplicação foi desta forma, devido a emergência de saúde pública internacional, relacionada a COVID-19¹, causada pelo vírus SARS-Cov-2, e da necessidade de cumprir com distanciamento social, o que impossibilitou a aplicação dos referidos recursos para uma sala de aula onde tivesse um aluno deficiente visual incluso.

Além do relato desta experiência com duas alunas cegas, os resultados e discussões sobre a aplicação no capítulo 6 desta dissertação, está contemplado um texto de apoio aos professores de Física, no capítulo 5, o qual indica uma proposta didático pedagógica a ser utilizada em sala de aula.

O capítulo 2 exhibe o referencial teórico que trata da abordagem cognitivista, baseada especificamente na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel e no Interacionismo de Vigotsky, aliados a Didática Multissensorial para justificar a utilização de diferentes recursos táteis visuais e auditivos propostos neste trabalho. No Capítulo 3 está apresentada a questão de como os Livros Didáticos disponíveis nas escolas abordam o conceito da Natureza Ondulatória da Luz. No capítulo 4 estão apresentados os conceitos físicos envolvidos para o desenvolvimento e uso dos recursos didáticos sugeridos no texto de apoio ao professor. E, no capítulo 7 as considerações finais

O Produto Educacional completo encontra-se no Apêndice A desta dissertação.

¹ Conforme o anúncio oficial realizado pelo Diretor da Organização Mundial da Saúde em 11 de março de 2020 disponível em <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TEORIAS DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Tomando como princípio o processo de ensino e aprendizagem de Física e considerando que, para o ensino desta disciplina, devemos considerar as propostas que ora estão em vigor, sejam elas os PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais de Ensino Médio) a nível nacional, e as DCE's (Diretrizes Curriculares Estaduais) a nível do estado do Paraná, pode-se destacar que elas apresentam semelhanças, como por exemplo, prever um ensino de Física que aborde questões próximas do mundo vivido pelos alunos e contribuir para a formação da cidadania e para o desenvolvimento de sujeitos críticos, capazes de admirar a beleza da produção científica ao longo da história.

Um projeto educativo, nessa direção, precisa atender igualmente aos sujeitos, seja qual for sua condição social e econômica, seu pertencimento étnico e cultural e às possíveis necessidades especiais para aprendizagem. Essas características devem ser tomadas como potencialidades para promover a aprendizagem dos conhecimentos que cabe à escola ensinar, para todos. (DCE)

Considerando também a proposta do Novo Ensino Médio que ainda está em construção, mas apresenta a ideia de que é imprescindível que os conhecimentos se apresentem como desafios para os alunos, de modo a envolver mobilização de recursos cognitivos, investimento pessoal e tomada de decisão na resolução de problemas e que, para tanto, se faz necessário o desenvolvimento de atividades que solicitem dos alunos várias habilidades, entre elas, o estabelecimento de conexões entre conceitos e conhecimentos tecnológicos, o desenvolvimento do espírito de cooperação, de solidariedade e de responsabilidade (Kawamura, Hosoume, 2003).

Na perspectiva destas propostas que buscam desenvolver um ensino de Física que possa levar os estudantes a uma reflexão do mundo que os rodeia, que desenvolva uma aprendizagem significativa, e que contemple a formação plena do cidadão, onde todos tem o mesmo direito de aprender. E considerando a inclusão educacional, modo que os educandos sejam capazes de interpretar o mundo e compreendê-lo, através da intervenção pedagógica, é que este trabalho

se fundamenta nas Teorias Cognitivas de Ausubel e Vygotsky e ainda na Didática Multissensorial.

2.2 ABORDAGEM COGNITIVISTA

Dentre as vertentes teóricas que tratam de questões relacionadas ao processo de ensino e aprendizagem, encontra-se a abordagem cognitivista, fundamentada na Psicologia Cognitiva, com ênfase na cognição, de modo que o conhecimento, e por consequência, a aprendizagem, estão relacionadas às questões sociais do indivíduo.

As teorias cognitivistas surgiram no Brasil, a partir da metade do século XX, nas áreas de Psicologia Educacional, tendo como principais teóricos Piaget e Vygotsky, cujas teorias buscam explicar a inteligência humana por meio da interação entre sujeito e objeto e, nessa interação ocorre a construção do conhecimento.

Jean Piaget (1896 - 1980), que segundo sua biografia, foi biólogo, epistemólogo e psicólogo e dedicou seus estudos ao comportamento do ser humano para entender como o conhecimento é construído. Neste aspecto, Piaget afirma em suas obras que a construção do conhecimento se dá por meio da interação entre sujeito e o objeto de conhecimento ou entre sujeito e meio (LaTaille, Oliveira, Dantas, 2019).

Mesmo não sendo pedagogo, foi um nome muito influente na educação, principalmente na segunda metade do século XX. A teoria Piagetiana, não é uma teoria de aprendizagem, mas sim uma teoria do desenvolvimento mental, baseada nos conceitos de assimilação, acomodação e equilíbrio. E, mesmo não tendo dedicado longamente seus estudos à interação social, ele escreve em seu livro *Biologia e Conhecimento* que a inteligência humana só se desenvolve nos indivíduos através das interações sociais (1973).

Lev S. Vygotsky (1896 – 1934) foi um psicólogo que desenvolveu pesquisas na área do desenvolvimento da aprendizagem e do papel que as relações sociais desenvolvem neste processo. Além de psicólogo, chegou a estudar medicina, direito e literatura e um de seus pressupostos básicos é a ideia de que o ser humano se constitui na sua relação com o social e que a cultura faz

parte da natureza humana, à medida que o homem se desenvolve e molda seu funcionamento psicológico (Oliveira, 1992).

Uma característica importante é o enfoque dado ao processo de cognição, através do qual o ser humano dá significado às situações vivenciadas ou percebidas do mundo que o cerca, daí a ênfase das pesquisas educacionais na valorização do conhecimento que o aluno traz consigo para obtenção e desenvolvimento de novas aprendizagens.

David Ausubel (1918 - 2008) também desenvolveu sua teoria cognitiva de aprendizagem. O autor, que teve formação em Medicina, Psicologia e Psiquiatria, mas com preocupações quanto ao processo de ensino e aprendizagem dedicou seus estudos à Psicologia Educacional no intuito de buscar respostas a sua pergunta chave “como facilitar a aquisição de conhecimentos, com significado, em situações de ensino” (Moreira, 2015, p. 18).

2.3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

Na busca de respostas aos seus questionamentos, David Ausubel desenvolveu a Teoria da Aprendizagem Significativa, cuja ideia central é que a aprendizagem com significado deve ser influenciada por aquilo que o aluno já sabe, ou seja, o conhecimento prévio do aluno é fator fundamental para a construção do novo conhecimento. Assim, pode-se relacionar a teoria de Ausubel ao processo de ensino e aprendizagem Construtivista, pois segundo Mortimer, 1996, há pelo menos duas características do construtivismo que são compartilhadas de acordo com Ausubel: “1) a aprendizagem se dá através do ativo envolvimento do aprendiz na construção do conhecimento; 2) as ideias prévias dos estudantes desempenham um papel importante no processo de aprendizagem” (1996, P.22).

A este conhecimento prévio do aluno Ausubel denominou subsunçor, que não está relacionado à submissão, mas sim como a variável que influencia a aprendizagem, ou seja, o conhecimento prévio serve de âncora, de levante, de pivô ou apoio para novos conhecimentos.

Este processo ocorre através do que Moreira (2015) chama de Interação Cognitiva, ou seja, o conhecimento prévio interage com o novo conhecimento

resultando na aquisição de novos significados, de modo que o conhecimento que o aluno traz consigo pode ficar mais elaborado, mais estável e novamente servir de subsunção para outros novos conhecimentos.

Outro fator fundamental neste processo de interação cognitiva é a predisposição para aprender, ou seja, o aluno quem decide se quer aprender significativamente, ele deve “manifestar uma predisposição para relacionar de maneira não arbitrária e não literal o novo conhecimento com o conhecimento prévio” (Moreira, 2010, p.15).

Essa interação não arbitrária e não literal significa que o aluno vai estruturando, a partir do conhecimento prévio, o novo conhecimento, através da mediação do professor, que não dá as respostas prontas e acabadas, mas direciona o aluno a estruturar o novo conhecimento. Daí a necessidade de o professor saber qual é o conhecimento prévio do aluno para direcionar ao objetivo final.

Ronca (1994) faz um apanhado sobre a contribuição de David Ausubel para as Teorias de Ensino e relata que novos significados são adquiridos pelo aprendiz quando símbolos e conceitos são relacionados e incorporados à estrutura cognitiva de uma forma não arbitrária e que isto contribui para que o conteúdo seja trabalhado de forma inclusiva, pois o professor dá oportunidade para todos os alunos, de fazerem a estruturação do novo conhecimento, a partir daquilo que ele já sabe.

“Se um novo conteúdo interagir com um conceito mais amplo, os efeitos iniciais da inclusividade se darão tanto na facilitação da aprendizagem como na própria retenção.” [Ronca, 1994, p. 92]. E isso fica mais evidente com a utilização de símbolos, seja uma imagem, um conceito, uma proposição. E, quando falamos em imagem, se esta vier adequada para leitura em alto relevo, a inclusão de alunos cegos fica concretizada.

Cabe considerar que, em algumas situações o conhecimento prévio do aprendiz pode dificultar a obtenção do novo conhecimento, ou seja, o subsunção nem sempre é positivo para a aprendizagem, pois muitas vezes vem carregado de crenças que levam ele a ser considerado como um obstáculo epistemológico. E, segundo a teoria de Bachelard quando as atividades empíricas vivenciadas pelos estudantes, resultam em assimilações inadequadas é observável a formação de obstáculos epistemológicos, ainda ressalta que é impossível a

formação de um novo conhecimento quando se tem concepções primordiais (conhecimento popular) enraizadas (Gomes; Oliveira, 2007).

Cabe ressaltar que a aprendizagem significativa só ocorre quando o aluno demonstrar predisposição para aprender, ou seja, quando o aprendiz possibilitar que o seu conhecimento prévio possa interagir com o novo conhecimento, numa estrutura cognitiva, gerando um significado. Caso isto não ocorra ou ocorra simplesmente na forma de memorização e decoreba, sem significados, ocorre o que Ausubel denomina de aprendizagem mecânica, que se caracteriza quando o novo conteúdo é armazenado isoladamente ou por meio de associações arbitrárias na estrutura cognitiva (Moreira, 2011).

De acordo com o que já foi dito, a aprendizagem significativa ocorre num processo de interação entre aquilo que o aluno já sabe (subsunção), com aquilo que ele ainda vai aprender, ou seja, na constante interação entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento que é incorporado e assimilado pelo educando de forma significativa.

Na contramão da aprendizagem significativa, existe a aprendizagem mecânica que, segundo Ausubel, (2003), é uma aprendizagem por memorização, aquela na qual o aluno simplesmente decora, memoriza e, por consequência não atribui significados aos conhecimentos adquiridos, ou seja, o novo conhecimento é armazenado de maneira arbitrária e literal, sem interagir com a estrutura cognitiva já existente no indivíduo.

A aprendizagem mecânica, há muito tempo vem sendo aquela que mais se aplica na escola, aquela na qual o aluno decora conteúdos, sem qualquer significado para reproduzir nas provas e esquecer logo em seguida. Como é o caso do ensino de Física, que tem refletido numa aprendizagem baseada na resolução de problemas com a aplicação de fórmulas prontas e acabadas, onde o aluno não é levado a pensar ou refletir nos resultados e, terminadas as avaliações tudo cai no esquecimento por não deixar no estudante qualquer significado ao conteúdo aprendido.

Moreira (2012, 2015), interpreta Ausubel e destaca que aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica não apresentam uma dicotomia, mas sim um contínuo, uma zona cinza de progressividade entre as duas formas de aprendizagem. Ou seja, é possível que, uma aprendizagem que seja inicialmente mecânica mas havendo a intencionalidade do educador e predisposição do

educando, pode vir a tornar-se significativa, na medida que a compreensão leve o aluno a enfrentar novas situações num processo que seja intencional por parte de quem ensina.

“A aprendizagem mecânica não se processa em um vácuo cognitivo, pois algum tipo de associação pode existir” (Moreira, 2016, p.09), além de que, muitas vezes se faz necessário lançar mão desta aprendizagem nas situações em que o educando não dispõe do ancoradouro cognitivo, do conhecimento prévio sobre determinado assunto. Nestas situações o professor pode utilizar, além da aprendizagem mecânica, o que Ausubel chama de organizadores prévios que, segundo Moreira (2012), podem ser materiais introdutórios, estratégias, enunciados, demonstrações, capazes de fazer a ponte cognitiva entre o que o aluno sabe e o que deveria saber e, dentre estas estratégias, muitas se caracterizam à metodologia da aprendizagem mecânica, mas que podem servir de ancoradouro para a construção significativa do novo conhecimento.

A teoria da aprendizagem de Ausubel (2003), pode ser classificada entre tipos e formas de aprendizagem significativa. Os tipos são diferenciados entre representacional, conceitual e proposicional e as formas são subordinada, superordenada e combinatória.

A aprendizagem subordinada é a mais comum de acontecer, pois ela ocorre quando o indivíduo já possui um conhecimento que serve de ancoradouro ao novo conhecimento, num processo de interação, ou seja, “quando novos conhecimentos potencialmente significativos adquirem significados para o sujeito que aprende, por um processo de ancoragem cognitiva” (Moreira, 2011, p.36).

A aprendizagem significativa superordenada não muito comum de acontecer, é mais comum na conceitualização, pois envolve processos de abstração, quando um conhecimento passa a subordinar vários outros, sendo um mecanismo fundamental para a aquisição de conceitos. (Moreira, 2011, 2012, 2016). Pode-se fazer uma analogia desta aprendizagem: quando o sujeito aprendeu de forma mecânica, mas após certo tempo consegue reaprender, fazendo novas relações a partir de processos de abstrações em que os conhecimentos novos subordinam aqueles que lhe originaram.

Quando a aprendizagem se dá pela “interação do novo conhecimento com uma base ampla de conhecimentos prévios” (Moreira, 2015, p.19), diz-se que a

forma de aprendizagem significativa é combinatória, ou seja, esta aprendizagem possui alguns atributos criteriosais, alguns significados comuns àqueles conhecimentos que lhe deram origem, mas não os subordina, nem os superordena (Moreira, 2011).

No que tange aos tipos de aprendizagem, a representacional é a mais elementar e da qual os outros tipos dependem. Diz-se elementar por ser aprendizagem na qual símbolos arbitrários se equiparam a objetos e representam para o aprendiz, um significado. E, estas representações relacionam-se de forma não arbitrária na estrutura cognitiva de quase todas as pessoas (Ausubel, 2003). Ou seja, a simples relação a objetos (símbolos) que tem nome, já é um significado ao sujeito que aprende.

A aprendizagem de conceitos pode ser reconhecida como uma aprendizagem representacional de alto nível, pois conceitos também são representados por símbolos. Essa aprendizagem ocorre quando existe uma situação de aprendizagem significativa e o aprendiz faz a relação dos atributos potencialmente significativos dos conceitos, com as ideias relevantes existentes na sua estrutura cognitiva (Ausubel, 2003). Isso é possível pois os conceitos já possuem nomes (como objetos por exemplo) e estes são possíveis de serem manipulados e compreendidos.

Segundo Ausubel (2003), conceitos podem ser objetos, acontecimentos, situações que são designadas por signos e símbolos e são adquiridos por dois processos: formação e assimilação conceitual. Moreira (2016), explica que na formação de conceitos, os atributos específicos são adquiridos por experiências diretas, como a aprendizagem por descoberta e, à medida que conceitos vão sendo adquiridos pelo aprendiz, ele é capaz de aprender novos conceitos por assimilação e, neste processo os novos significados relacionam-se com as ideias âncora e permanecem na estrutura cognitiva do aprendiz.

O terceiro tipo de aprendizagem, a proposicional, significa aprender o significado de ideias, na forma de proposição, ou seja, quando os significados dos conceitos envolvidos interagem com ideias relevantes que estão presentes na estrutura cognitiva do aprendiz e daí surgem significados da nova proposição. Este tipo de aprendizagem pode ser subordinada, superordenada ou combinatória (Moreira, 2011, 2016).

Na aprendizagem significativa, a estrutura cognitiva é dinâmica e caracterizada por dois processos que devem ser considerados: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Esses processos envolvem uma hierarquia conceitual, pois à medida que o aluno aprende significativamente, ele consegue diferenciar e integrar novos conhecimentos, ou seja, é possível diferenciar e integrar significados num processo contínuo, por isso dinâmico.

A diferenciação progressiva é o processo no qual novos conhecimentos são dados a um determinado conhecimento prévio, ou seja, através de sucessivas interações e, de forma progressiva, o sujeito que aprende consegue atribuir novos significados aos subsunçores que vão sendo diferenciados e conseqüentemente servem de ancoradouro para outras aprendizagens significativas (Moreira, 2011).

Simultâneo ao processo da diferenciação progressiva, tem a reconciliação integradora “que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações” (Moreira, 2011, p.22).

Os processos são simultâneos, pois se a aprendizagem é significativa, o sujeito que aprende precisa diferenciar significados para aprender a perceber situações diferentes de um mesmo conceito ou símbolo, mas também precisa integrar os mesmos significados para que novos conceitos sejam reconciliados na estrutura cognitiva do aprendiz. Além de simultâneos, percebe-se que os processos ocorrem em intensidades diferentes, de modo que Moreira (2011) afirma que a diferenciação progressiva está mais relacionada à aprendizagem subordinada e a reconciliação integradora com a aprendizagem superordenada que é menos frequente.

Cabe aqui salientar e explicar que, mesmo na aprendizagem significativa, o esquecimento acontece e é necessário para que a reaprendizagem possa ocorrer na estrutura cognitiva do indivíduo.

Para Ausubel (2003), o esquecimento é uma consequência da aprendizagem significativa, aquilo que ele denominou de assimilação obliteradora, “as novas informações tornam-se, espontânea e progressivamente, menos dissociáveis de suas ideias – âncora até que não mais estejam disponíveis como entidades individuais” (Moreira, 2016, p. 19).

Moreira (2012), também faz considerações de que, se a aprendizagem foi significativa, é possível resgatar o conhecimento esquecido, pois existe o resíduo, ou seja, o sistema cognitivo resgata sem dificuldades, em um curto intervalo de tempo o conhecimento esquecido, permitindo que a reaprendizagem aconteça.

Importante ressaltar aqui, que esse processo não ocorre da mesma forma na aprendizagem mecânica, pois nesta aprendizagem o esquecimento é quase total, ocorre de maneira rápida, o indivíduo decora para a prova, faz o uso e na sequência o conhecimento cai no esquecimento, ou ainda, conforme afirma Moreira (2012), a reaprendizagem praticamente não ocorre quando a aprendizagem é mecânica.

2.4 O INTERACIONISMO DE VYGOTSKI E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A INTERAÇÃO EDUCACIONAL JUNTO A PESSOAS COM DEFICIENCIA VISUAL

Na perspectiva de Vygotsky, os indivíduos aprendem na interação social com outros indivíduos, mais velhos ou mais experientes. E, neste raciocínio, desenvolveu-se o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), que também dá embasamento teórico para justificar o trabalho em grupo proposto no texto de apoio ao professor, descrito nesta dissertação.

Sua teoria considera dois aspectos de aprendizagem: o conhecimento real que o indivíduo possui, também chamado por Vygotsky de Nível de Desenvolvimento Real, que é aquele conhecimento que está consolidado no

intelecto do indivíduo, aquelas tarefas que realiza sozinho, sem ajuda de outras pessoas e o Nível de Desenvolvimento Potencial que é a capacidade que o indivíduo tem de realizar tarefas com a ajuda de outras pessoas, ou seja aquilo que o indivíduo não sabe, mas tem potencial para aprender.

De acordo com Oliveira, (2005), o nível de desenvolvimento potencial caracteriza um momento do desenvolvimento humano em que a ação individual é afetada significativamente pela interferência de outras pessoas além de atribuir importância extrema à interação social no processo de construção das funções psicológicas humanas. Ou seja, o indivíduo tem o conhecimento real e para chegar ao potencial, ele precisa interagir com outras pessoas.

Nesse sentido Vygotsky definiu a Zona de Desenvolvimento Proximal como sendo o espaço, a distância entre o desenvolvimento real e o potencial, o espaço onde as interações acontecem.

É o caminho que o indivíduo vai percorrer para desenvolver funções que estão em processo de amadurecimento e que se tornarão funções consolidadas, estabelecidas no seu nível de desenvolvimento real (Oliveira, 2005, p.60).

Desta forma os conhecimentos vão se consolidando e, quando o conhecimento potencial é alcançado, ele vira conhecimento real e novas interações vão acontecendo. “O aprendizado desperta processos de desenvolvimento que, aos poucos, vão tornar-se parte das funções psicológicas consolidadas do indivíduo” (Oliveira, 2005, p.60). Ainda de acordo com Oliveira, a interferência constante de adultos e crianças mais experientes no nível de desenvolvimento proximal, movimentam os processos de desenvolvimento dos membros imaturos da cultura. Daí a importância das atividades em grupo nas aulas de Física, pois os colegas podem interferir no processo e contribuir para que o conhecimento seja consolidado pelos demais colegas. Da mesma forma quando alunos videntes são colocados junto a alunos com deficiência visual, podendo contribuir na descrição daquilo que estão visualizando ou sentindo, para auxiliar na construção do conhecimento.

Dentre os estudos desenvolvidos por Vygotsky, pode-se dar destaque às contribuições de sua teoria no contexto da defectologia. Foram vários os motivos que o levaram a desenvolver estudos na área da deficiência, dentre eles, a condição de vulnerabilidade de crianças com deficiência no período pós

revolução de 1917, quando o governo soviético envolveu Vygotsky na elaboração de propostas educacionais para atender as necessidades destas crianças, dando origem, em 1929 ao Instituto Experimental de Defectologia, onde suas principais contribuições para o ensino de pessoas com deficiência foram desenvolvidas. Apesar de sua investigação ter sido mais dedicada a deficiência intelectual, à surdez e à cegueira, ressalta-se que Vygotsky tem contribuições específicas no âmbito de cada deficiência (Nuernberg, 2008).

No que tange à deficiência visual, Vygotsky defende a ideia de que o pensamento coletivo é a melhor forma de compensação para as consequências da cegueira, pois é na coletividade, na interação como o outro ou como o objeto de ensino que a aprendizagem acontece. Nuernberg, (2008), quando faz uma interpretação de Vygotsky, afirma que o conhecimento não é mero produto dos órgãos sensoriais, mesmo reconhecendo que estes possibilitem vias de acesso ao mundo, mas que o conhecimento resulta de um processo de apropriação que se realiza nas/pelas relações sociais.

Neste sentido cabe entender o que a teoria de Vygotsky traz nos termos de mediação, seja a mediação semiótica ou a mediação social. Na primeira ele considera que o uso de signos – e neste sentido a linguagem é o mais importante, podem superar alguns limites que a deficiência visual impõe, através de conceitos pautados na experiência visual, como é o caso das cores, por exemplo. Já a segunda mediação, se refere as diferentes possibilidades de o aluno cego se apropriar do conhecimento a partir das experiências sociais dos videntes.

Com base nesse tipo de intervenção, Nuernberg (2008), afirma que as pessoas com deficiência visual desenvolvem vias alternativas para atuarem na realidade, através de sensações corporais, ou seja de outros sentidos que são desenvolvidos através da contribuição que o vidente lhe proporciona. Daí a importância do trabalho em grupos ou em duplas, especificamente falando de alunos cegos, no qual a ajuda do colega vidente pode contribuir muito para o aprendizado do aluno com deficiência visual, a partir das trocas de experiências, onde a experiência de um não anula a participação do outro no desenvolvimento de determinada atividade.

Além da intervenção dos colegas, no trabalho em grupos, temos a mediação dos Signos, como já foi acima citado e, segundo Vygotsky os signos

são meios auxiliares em tarefas que exigem memória e atenção e, segundo Costa (2006), a função semiótica pode ser trabalhada com o uso de diversos signos, como atividades práticas e jogos que podem registrar lugares, sons, objetos e conceitos. Por isso a importância de desenvolver recursos didáticos propostos para diferentes atividades, sejam de jogos, seja de produção de som, associadas a diferentes conceitos e ao trabalho em grupo, para dar mais subsídios a aprendizagem não só de alunos com deficiência visual, mas também os videntes, pois

Cabe oferecer aos educandos cegos as mesmas oportunidades e exigências que são proporcionadas ou feitas aos demais alunos. Para tanto, valorizar suas experiências táteis, auditivas e cinestésicas é tão importante quanto proporcionar intervenções que favoreçam a formação de conceitos por meio dos processos de significação, promovendo assim o desenvolvimento das funções psicológicas superiores. (Nuernberg, 2008, p.314).

2.5 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA ALIADA A DIDÁTICA MULTISSENSORIAL

Em análise dos dados do Censo Escolar, é possível observar o aumento significativo de matrículas de alunos com necessidades educacionais especiais na rede de ensino regular. O censo 2018 traz um comparativo com o ano de 2014, apresentando neste período uma redução de 2,6% no total do número de matrículas na educação básica do Brasil, ou seja, nestes quatro anos 1,3 milhões de estudantes a menos. No entanto, observa-se um aumento nas matrículas de educação especial que chegaram a 1,8 milhões em 2018, ou seja, aumento de 33,2 % em relação a 2014.

O percentual de alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento ou altas habilidades, matriculados em classes comuns tem aumentado gradualmente em todas as etapas de ensino. Com exceção da EJA, todas as etapas da educação básica apresentam mais de 88,0 % de alunos incluídos em classes comuns em 2018. A maior proporção de alunos incluídos é no Ensino Médio, em que 98,9 % dos alunos se encontram nessa posição (BRASIL, 2019, p.34).

De acordo com os dados analisados e considerando a meta 4 do Plano Nacional de Educação – PNE, que trata da universalização do acesso à educação básica e ao atendimento educacional especializado para população de 4 a 17 anos, o atendimento a esta demanda deve ser por meio da educação inclusiva, preferencialmente na rede regular de ensino (Brasil, 2015).

Considerando que o Ensino de Física é parte do ensino regular e, portanto, deve estar voltado à inclusão educacional, uma didática importante a ser utilizada é a multissensorial, cuja metodologia utiliza de todos os sentidos para o processo de ensino e aprendizagem de Ciências (Soller, 1999).

Soller, (1999), salienta que o ensino de ciências com enfoque na perspectiva visual leva à perda de muitas informações não visuais, o que acaba por desmotivar os alunos, principalmente aqueles que apresentam alguma deficiência visual. Daí a importância de utilizar, além da visão, o tato, a audição, o paladar e o olfato para a aprendizagem significativa de alunos com deficiência ou sem deficiência visual.

A didática multissensorial de Soller trata de ações didáticas que refletem numa aprendizagem completa e significativa, à medida que as informações do conhecimento científico são obtidas por todos os sentidos, podendo se tornar interessante para alunos cegos, com baixa visão e alunos videntes, pois as informações entram por canais sensoriais distintos e vão até o cérebro onde se inter-relacionam e adquirem um significado único que é a aprendizagem.

A didática multissensorial classifica os sentidos como sintéticos (visão, audição, olfato e paladar) e analíticos (tato). Os sintéticos permitem a percepção dos fenômenos de forma mais global enquanto o analítico percebe o fenômeno partindo do particular para o geral e, segundo a teoria, é a combinação destes processos que auxilia o aluno no processo de efetivação da aprendizagem significativa (Soller, 1999) e, segundo Moreira (2015), essa aprendizagem significativa ocorre quando o conhecimento prévio do aluno interage com o novo conhecimento, através da interação não arbitrária e não literal, ou seja, o professor faz a mediação para que o aluno possa articular o novo conhecimento com aqueles já existentes em sua estrutura cognitiva.

Segundo Camargo (2016), o conhecimento prévio exibe relações com referenciais visuais e não visuais, de modo que não existe um método individualizado de observação para pessoas com ou sem deficiência visual, mas sim a utilização da observação multissensorial permite a todo e qualquer aprendiz, fazer uso dos mais variados sentidos para potencializar a ocorrência da aprendizagem significativa. E que esta didática, traz benefícios qualitativos e quantitativos.

Nas palavras de Eder Pires de Camargo

“Sumarizando, nosso cérebro preparado para sintetizar a partir da análise e analisar a partir da síntese. A aprendizagem significativa dá-se pela combinação de processos sintéticos e analíticos com a participação de diferentes canais de captação de informações. Portanto, a didática multissensorial é um método pedagógico de interesse geral para o ensino e a aprendizagem das Ciências Naturais e Experimentais, que utilizam todos os sentidos humanos possíveis, relacionando-os de modo a formar conhecimentos multissensoriais completos e significativos” (2016, p.33).

A partir do exposto, e considerando que nas salas de aula é percebida uma diversidade de pessoas, com ou sem deficiência, onde cada uma apresenta

uma forma particular de ser e, principalmente de aprender, considera-se que a didática multissensorial pode ser aplicada para qualquer realidade de ensino, em especial Ensino de Física.

O Ensino de Física requer dos indivíduos uma interpretação dos fenômenos a ele relacionados, isto exige uma reorganização do pensamento a partir de contextos comunicativos e argumentativos. Portanto o ensino desta ciência deve contemplar a utilização de todos os sentidos para garantir a aprendizagem de todos os alunos, pois a organização do pensamento e a comunicação ocorrem pela diversidade sensorial. Greca (2005), faz uma análise sobre este processo e questiona: Não estaria a aprendizagem de conceitos físicos atrelada a processos de construção de representações mentais caracterizadas pela diversidade sensorial, ou seja, à construção de imagens mentais visuais, táteis, auditivas, etc.

Trazendo esta análise para o ensino do conteúdo proposto nesta dissertação – Natureza Ondulatória da Luz, Camargo (2016) considera que os significados contidos neste modelo podem ser vinculados a representações visuais, táteis e auditivas, pois é possível representar internamente a onda em função de referenciais adotados, podendo ser possível observar modelos analógicos para esta natureza da luz e não a observação direta da onda eletromagnética. Daí a utilização de diferentes representações (táteis, visuais e auditivas) que possam contribuir para a construção do conceito pretendido por parte de todos os alunos, com ou sem deficiência visual, haja visto que atrelam ao processo de aprendizagem a utilização de diferentes sentidos por parte de quem aprende e de quem ensina.

3 OS LIVROS DIDÁTICOS E A ABORDAGEM DA NATUREZA ONDULATÓRIA DA LUZ

“O ensino da Óptica nas escolas de nível médio normalmente se restringe ao conteúdo da chamada óptica geométrica. Nesse contexto, as leis da reflexão e da refração, bem como o formalismo a elas associado, são aplicados para a solução de problemas padrão. Além disso, a demonstração dos fenômenos ópticos costuma ser feita sem nenhuma preocupação em dar significado desse estudo aos alunos. Os estudantes, contudo, têm em geral, um modelo de luz e visão diferente do modelo científico”. (Silva e Martins, 2010, p. 72)

A evidência do que está acima exposto, é a de que os professores de escolas públicas muitas vezes lançam mão de utilizar o livro didático como único material de referência na sala de aula, e estes apresentam os conteúdos com pouca ênfase aos conceitos e muita ênfase ao formalismo matemático, com resolução de problemas baseados na aplicação de fórmulas. Livros estes que reproduzem os livros das graduações, utilizados pela maioria dos docentes na sua formação inicial, portanto de certa forma, facilita o trabalho do professor que não se preocupa em pesquisar as teorias e desenvolver estudos para serem aplicados em sala de aula (Paraná, 2008).

Nessa linha de pensamento, e analisando os livros didáticos de Física, atualmente utilizados nas escolas públicas de Ensino Médio, livros estes aprovados pelo PNLD – Programa Nacional do Livro e do Material Didático, mais especificamente sobre o conteúdo da Natureza Ondulatória da Luz, cabe dizer, de modo geral, que os mesmos, em sua maioria, apresentam o conteúdo LUZ, dentro de um capítulo da Óptica, dando ênfase à Óptica Geométrica, sem fazer relação com sua natureza ondulatória, ou apresentando ao final do capítulo, um pequeno texto, na forma de leitura complementar, que trata da Natureza Dual da Luz.

Em análise dos livros utilizados nos Colégios de Ensino Médio do município de Francisco Beltrão, onde este trabalho foi desenvolvido, a coleção escolhida e ora utilizada pelos docentes deste município é: Física em três volumes dos autores Bonjorno, Clinton, Casemiro e Eduardo Prado da editora FTD. O guia para escolha do livro didático aborda em sua análise que esta

coleção traz abordagem com ênfase aos aspectos quantitativos e que as articulações com o cotidiano ou mesmo conceitual aparece na forma de textos das seções especiais. Isso já revela que o conteúdo Luz não é discutido na sua essência.

No índice do Volume 2 da coleção, a Óptica aparece na Unidade III, sugerindo os seguintes capítulos: Conceitos Fundamentais, Reflexão da Luz, Espelhos Esféricos, Refração da Luz, Lentes Esféricas e Instrumentos Ópticos. Na Unidade IV Ondulatória, com os capítulos: Ondas, Fenômenos Ondulatórios e Acústica. Deste modo sugere que, se o leitor quiser saber sobre a Natureza da Luz, terá que percorrer o livro para ver se encontra algum texto relacionado ao assunto. E, no Volume 3 da mesma coleção, trata das ondas eletromagnéticas na Unidade III do Eletromagnetismo.

Fazendo uma leitura e análise mais detalhada do volume 2 da referida coleção, observa-se que, no capítulo que trata dos Conceitos fundamentais, aparece um subitem intitulado “Afinal, o que é luz?” no qual, em menos de uma página, apresenta a forma como a natureza da luz foi tratada no decorrer dos anos, ora como partícula, ora como onda de acordo com as teorias de Isaac Newton, Christian Huygens, Thomas Young e James Maxwell. Uma apresentação bem superficial, sem detalhes nem conceitos físicos que possam esclarecer aos alunos sobre essa natureza, conclui com a frase: “Pela nova teoria a luz tem comportamento dual ou natureza dupla, ou seja, pode se comportar ora como partícula, ora como onda, e isso é perfeitamente aceitável no modelo quântico”(2016, p. 127). Na sequência, apresenta os princípios da Óptica Geométrica, com suas consequências e fenômenos relacionados à reflexão e refração, mas sem assumir a natureza da luz. Inclusive, no final do capítulo faz abordagem às cores percebidas pelo olho humano, sem fazer relação com a frequência destas cores, menos ainda assumindo que isso é explicado pela natureza ondulatória da luz. Quando trata da cor do céu, faz menção do espalhamento da luz azul, afirmando apenas que “por conta de sua frequência mais alta, é mais pronunciado do que das outras cores, fazendo dessa cor a dominante no meio. A luz vermelha, por exemplo, é espalhada cerca de dez vezes menos que a luz azul” (2016, p. 143). Continua a explicação sobre o amanhecer e entardecer serem avermelhados devido ao caminho mais longo

que a luz percorre, sendo que a luz vermelha, por ter baixa frequência, é a menos espalhada.

Conceitos assim, são muito superficiais, e não assumem a natureza ondulatória da luz, apesar de falar em frequência. Se o professor não fizer um estudo com base em leituras científicas e ministrar suas aulas com embasamento puro no livro didático, os alunos terão um modelo de luz e visão diferente do modelo científico, conforme já mencionado acima por Silva e Martins, (2010).

Fica perceptível que os conteúdos são apresentados de forma desconexa, sem uma relação entre si, o aluno estuda a óptica e ondulatória no segundo ano do ensino médio e vai estudar ondas eletromagnéticas no terceiro ano sem fazer o resgate da natureza ondulatória da luz, como se os conteúdos fossem isolados e independentes.

De acordo com outros autores, que inclusive já fizeram esta análise de como é a abordagem do conteúdo que trata da natureza da luz nos livros didáticos, a afirmação é a mesma: “O ensino de óptica no nível médio está concentrado na óptica geométrica” (Silva, et al, 2015, p.1), os autores ressaltam inclusive, que a teoria ondulatória da luz explica fenômenos como difração e interferência, conceitos estes, que não podem ser explicados pela óptica geométrica. Descrevem também que, os fenômenos abordados na Óptica Geométrica, na maioria dos livros didáticos, como reflexão, refração e formação de imagens em espelhos e lentes podem ser tratados utilizando a teoria ondulatória.

4 CONCEITOS FÍSICOS ABORDADOS

O Ensino de Física a nível médio nas escolas públicas do Brasil tem sido direcionado a partir do uso de livros didáticos ofertados pelo MEC. Em se tratando do assunto abordado neste trabalho, o que se observa é que o conteúdo específico LUZ é tratado nos capítulos da Ótica, que trazem um emaranhado de subitens e dão uma importância grande à Ótica Geométrica, sem deixar claro aos estudantes a sua Natureza ondulatória, assim como discutido no capítulo anterior.

À vista disso, neste capítulo estão abordado alguns conceitos importantes e necessários, da Ondulatória nos subitens de 4.1 a 4.4 e um estudo teórico sobre a Natureza Ondulatória da Luz, nos subitens de 4.5. a 4.8.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DAS ONDAS

Uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro de um meio, com velocidade definida, sem que haja transporte de matéria, pois a onda transporta energia e momento (Nunssenzeig, 2010). A classificação das ondas pode ser quanto a sua natureza, direção de propagação e direção de vibração.

Quanto a sua natureza, podem se apresentar como ondas mecânicas, ou eletromagnéticas. As ondas mecânicas, presentes em toda a parte, como as ondas do mar, ondas sonoras e ondas sísmicas, possuem duas características, segundo Halliday (2009), são governadas pelas leis de Newton e se propagam apenas em meios materiais.

De acordo com Halliday (2009), as ondas eletromagnéticas podem ser as menos familiares, no entanto, as mais usadas. Como por exemplo a luz visível, ultravioleta, ondas de rádio e televisão, raio x, ondas estas que não precisam de um meio material para se propagar e todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a mesma velocidade $c = 299\,792\,458$ m/s.

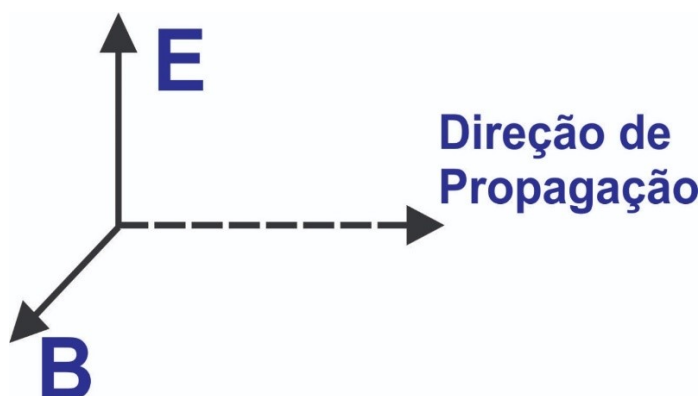
Quanto a direção de propagação, as ondas podem ser classificadas em unidimensional, bidimensional e tridimensional, dependendo de quantas

direções as mesmas se propagam, podendo ser em uma, duas ou três direções. O som e a luz são ondas de propagação tridimensional.

As ondas podem ser classificadas ainda como transversais ou longitudinais de acordo com a relação entre a direção de propagação e direção de oscilação. Halliday (2009) explica em sua obra que a onda longitudinal tem direção paralela ao seu estímulo e as ondas transversais tem direção perpendicular ao seu estímulo.

“Um exemplo extremamente importante de ondas transversais são as ondas eletromagnéticas, em que os campos elétrico \vec{E} e magnético \vec{B} em cada ponto oscilam mantendo-se sempre perpendiculares à direção de propagação” (Nunssenzveig, 2010, p.99)

Figura 1 – Representação vetorial de uma onda transversal, o campo elétrico E e magnético B, em cada ponto, oscilam e se mantém perpendiculares à direção de propagação da uma onda eletromagnética.



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

4.2 COMPONENTES DE UMA ONDA

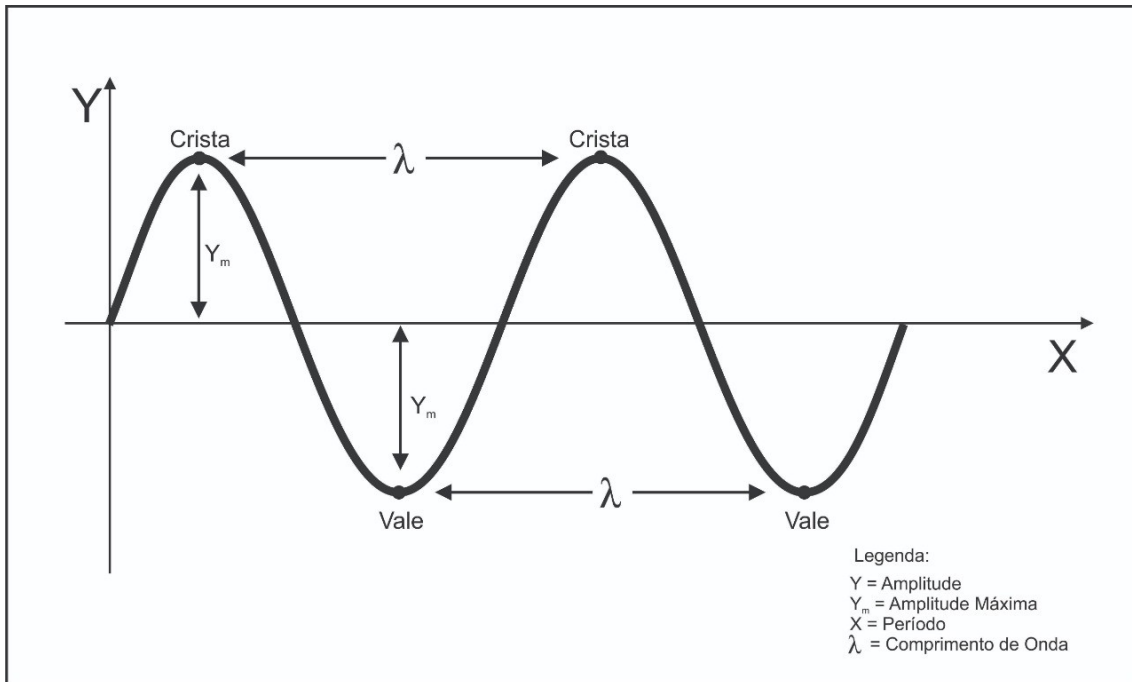
A partir da equação de onda e de uma figura típica que representa uma onda (Figura 1) é possível identificar alguns componentes importantes para o estudo da luz como onda eletromagnética.

Equação 1: Função de Onda

$$Y(x, t) = Y_m \text{seno}(Kx - \varphi t)$$

A **amplitude máxima** (Y_m) de uma onda pode ser observada na Figura 2:

Figura 2: Onda se propagando no sentido positivo do eixo x, com indicação das componentes – amplitude máxima, comprimento de onda e período de oscilação.



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Halliday, descreve a amplitude de uma onda como sendo “o módulo do deslocamento máximo dos elementos a partir da posição de equilíbrio quando a onda passa por eles” (2009, p.119). Indicando assim que a amplitude pode ser medida para cima ou para baixo, determinando os extremos do deslocamento do elemento.

Os demais conceitos relacionados às componentes de onda (fase, período, frequência angular, frequência e velocidade), assim como equação de onda (Equação 1) são aqui interpretações de Halliday, (2009), conforme segue:

Supondo que a onda da figura (2), seja a representação de ondas estacionárias produzidas em uma corda, é possível entender que a **fase** da onda (argumento $Kx - \omega t$ do seno da equação 1) representa a onda passando por um elemento de corda em determinada posição x , a fase varia linearmente com o tempo, indicando que o seno oscila entre +1 e -1. Quando o elemento passa pelo extremo positivo ou pico de onda, o valor do seno é +1 e, no extremo negativo ou vale de onda, o valor de seno é -1. Isso indica que a função seno e a variação com o tempo de fase da onda correspondem à oscilação de um elemento de corda.

O **período (T)**, de oscilação de uma onda, é definido como o tempo que um elemento leva para completar uma oscilação completa e a **frequência (f)** de uma onda é definida como o inverso do período, ou seja, o número de oscilações por unidade de tempo. Já a **frequência angular (ω)** pode ser definida como sendo a medida escalar da velocidade de oscilação da onda, veja as equações (Equação 2, Equação 3, Equação 4).

Equação 2: Frequência Angular

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

A unidade de medida da frequência angular é radianos por segundo no SI. A frequência de uma onda pode ser relacionada a sua frequência angular:

Equação 3: Frequência de uma Onda

$$f = \frac{1}{T}$$

A frequência é medida em Hertz – Hz.

Equação 4: Relação entre Frequência Angular e Frequência da Onda

$$\omega = 2\pi f$$

A velocidade de uma onda é definida como sendo o comprimento de onda por período, ou seja, a onda se desloca de uma distância que corresponde a um comprimento de onda, num período de oscilação.

Equação 5: Velocidade de uma Onda

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

A velocidade também pode ser escrita em função da frequência, tendo em vista que a frequência é o inverso do período.

Equação 6 - Velocidade de uma Onda em Função da Frequência

$$V = \lambda \cdot f$$

4.3 ONDA ELETROMAGNÉTICA

As ondas eletromagnéticas têm origem a partir da oscilação de campos elétricos e magnéticos, ou seja, “toda partícula carregada eletricamente gera um campo elétrico ao seu redor. A oscilação da partícula faz oscilar e variar no tempo esse campo. Tal variação produz um campo magnético também oscilante, perpendicular ao campo elétrico” (Camargo, 2016, p.210).

Hewitt, (2015) relata um dos ensinamentos de Maxwell:

“Sacudindo de um lado para outro uma barra eletricamente carregada no vácuo, se produzirá ondas no espaço. Os campos elétrico e magnético oscilantes regeneram um ao outro formando desta maneira uma onda eletromagnética que emana (dirige-se para fora) das cargas vibrantes” (p. 488).

As ondas eletromagnéticas se diferem das demais por também se propagarem no espaço vazio com uma velocidade constante que, de acordo com Hewitt (2015), foi calculada por Maxwell que encontrou um valor aproximado a 300000 km/s. Afirmando ainda que, de acordo com a teoria de Maxwell a luz é uma onda eletromagnética e que essas ondas ativam as ‘antenas elétricas’ do olho humano. Percebendo que a radiação eletromagnética de qualquer frequência se propaga com a rapidez da luz.

De acordo com Halliday (2009), as ondas eletromagnéticas (raio x, raio gama e luz visível, entre outras) são produzidas por fontes de dimensões atômicas ou nucleares, mas também podem ser produzidas ondas eletromagnéticas de fonte macroscópica com dimensões relativamente pequenas, como o oscilador LC, mas indiferente da fonte em que as ondas são produzidas, todas apresentam as mesmas propriedades:

“1- Os campos elétrico e magnético \vec{E} e \vec{B} são perpendiculares a direção de propagação da onda. Isso significa que a onda é uma onda transversal.

2- O campo elétrico é perpendicular ao campo magnético.

3- O produto vetorial $\vec{E} \times \vec{B}$ aponta no sentido de propagação da onda.

4- Os campos variam senoidalmente, como as ondas transversais. Além disso os campos variam com a mesma frequência e estão em fase” (Halliday, 2009, p. 4).

4.4 VETOR DE POYNTING E O TRANSPORTE DE ENERGIA

Conforme já dito anteriormente, uma onda transporta energia e o Vetor de Poynting, representado pela letra S, é o responsável por medir a “taxa de transporte de energia por unidade de área por parte de uma onda eletromagnética” (Halliday, 2009, p.9, vol 4), o que também pode ser chamado de fluxo de energia que foi introduzido pelo físico inglês John Poynting (1852-1914), daí o nome do referido vetor, que pode ser calculado pela Equação 7:

Equação 7: Cálculo de vetor de Poynting

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$$

O vetor de Poynting apresenta dimensão de J/(s.m²) ou w/m².

Por ser uma grandeza vetorial, o vetor de Poynting descreve o módulo, direção e sentido do fluxo de energia transportada por ondas eletromagnéticas, ou seja, “as características vetoriais de uma onda eletromagnética que se propaga transportando uma certa quantidade de energia que atravessa uma determinada área em um dado intervalo de tempo” (Camargo, 2016, p. 215)

No entanto, o vetor de Poynting não é muito eficiente para saber o quanto uma onda eletromagnética é energética, pois os campos elétrico e magnético variam muito rápido, por exemplo, a luz visível apresenta uma frequência de oscilação da ordem de 5.10¹⁴ Hz, impossível de ser registrado um evento nesta rapidez, assim, utiliza-se o conceito de Intensidade I, como sendo a média temporal do vetor de Poynting, mas que acaba por ter o mesmo significado e a mesma grandeza de medida.

Equação 8: Média Temporal do Vetor de Point

$$I = \frac{P}{A}$$

A área é da frente esférica, portanto,

Equação 9: Área da Frente Esférica

$$A = 4\pi r^2$$

De acordo com a Equação 9, a intensidade da radiação eletromagnética diminui com o quadrado da distância (raio) da fonte. Considerando que a fonte seja pontual e que emita luz isotropicamente (com a mesma intensidade em todas as direções), com frente de onda esférica. (Halliday, 2009, p. 10, vol.4)

Quanto maior for a intensidade da onda eletromagnética, maior a energia por ela transportada.

4.5 LUZ: ONDA ELETROMAGNÉTICA

“Luz, com a qual enxergamos, é apenas uma pequena parte do vasto espectro de um mesmo tipo de coisa, as várias partes deste espectro sendo distinguidas pelos diferentes valores de uma mesma grandeza, a qual varia. Esta grandeza variável poderia ser chamada de comprimento de onda. Conforme esta varia na faixa do espectro do visível, a luz aparentemente muda de cor do vermelho para o violeta” (Feynman, 2008, p. 270)

Compreender a natureza da luz sempre foi um objetivo da Física. A luz é um fenômeno complexo que apresenta muitas oportunidades de aplicações e a interferência ótica ou interferência de ondas luminosas é uma destas oportunidades, pois explica vários fenômenos da natureza, dentre eles a percepção das diferentes cores, daí a necessidade de ir além do estudo da ótica geométrica. (Halliday, 2009, vol.4)

A natureza da Luz foi estudada e explicada por diferentes concepções ao longo da história, mas houve por um bom tempo a predominância da teoria corpuscular da luz, defendida veementemente por Isaac Newton. No final do século XVIII, no entanto, os modelos mecânicos da ótica newtoniana não deram conta de explicar vários fenômenos relacionados com a luz, o que abriu possibilidades para retomarem a teoria da luz como onda, até então defendida por Christian Huygens (primeiro físico a apresentar uma teoria ondulatória convincente para a luz, em 1678) mas com pouca aceitação e com a necessidade de algumas correções, porém teve a vantagem de explicar as leis da reflexão e refração em termos de ondas. Foi então que, no início do século XIX grandes obras baseadas na concepção de ondas impulsionaram o desenvolvimento da teoria ondulatória da luz e foram ganhando espaço, à medida que conseguiam explicar com mais clareza, dando detalhes quantitativos e qualitativos a fenômenos como a interferência, difração e polarização da luz, entre outros importantes fenômenos óticos (Martins e Silva, 2015; Hewitt, 2015)

A vanguarda dos estudos sobre a nova teoria ondulatória da luz se deu por Thomas Young (1773-1820) e Augustin Fresnel (1788-1827), por meio de pesquisas sobre difração e interferência.

Maxwell (1831-1879), deu forma à teoria moderna do Eletromagnetismo, unificando a eletricidade, o magnetismo e a óptica, apresentando uma teoria eletromagnética para a luz, ou seja demonstrou que a luz é uma propagação de ondas elétricas e magnéticas, através de comprovações algébricas.

Quem testou experimentalmente a hipótese de Maxwell sobre a equivalência entre luz e propagação eletromagnética foi Hertz, em 1887, quando elaborou um conjunto de experimentos engenhosos que comprovaram a existência de ondas eletromagnéticas através de sua geração e detecção.

Hertz fez uso de um oscilador feito de esferas de bronze conectadas a uma bobina, levemente distanciadas, o que permitia um centelhamento quando submetidas a altas tensões. Associado a isso, também construiu um receptor, colocado a alguns metros de distância do oscilador, que consistia num fio metálico em forma de aro no qual duas pequenas esferas também estavam separadas por uma pequena distância.

“Hertz observou que cada faísca de sua ‘antena emissora era acompanhada de uma faísca da ‘antena receptora’, mesmo quando a separação entre elas era de vários metros” (Nussenzweig, 1997, p.287). Assim ele gerou, artificialmente, ondas eletromagnéticas que se propagavam na mesma velocidade da luz e concluiu: “ As experiências descritas me parecem em alto grau adequadas para remover as dúvidas sobre a identidade entre a luz, a radiação térmica e as ondas eletromagnéticas” (Nussenzweig, 1997, p.288).

Além da demonstração quanto a velocidade destas ondas, Hertz também demonstrou equivalências quanto a reflexão, refração, efeitos de focalização e de interferências, tudo seguindo a mesma analogia da luz. Então com estes resultados houve a unificação da ótica e do eletromagnetismo.

4.6 O EXPERIMENTO DE THOMAS YOUNG

Thomas Young, físico, médico e egiptólogo britânico, desenvolveu um experimento de interferência que ficou conhecido como experimento da fenda dupla ou experimento de Young, provando que a luz é uma onda, através da demonstração de que a luz, assim como outras ondas (ondas sonoras, onda do mar) sofre interferência. No entanto, somente a partir de 1830, um século após

a morte de Newton, que a teoria ganhou aceitabilidade entre vários estudiosos da época (Martins, Silva, 2019; Halliday, 2009).

Martins e Silva (2019), realizaram um estudo aprofundado sobre os mais diversos trabalhos, nacionais e internacionais de Thomas Young, dentre eles algumas transcrições de suas teorias e apresentam em sua publicação de 2019, na Revista Brasileira de Ensino de Física, as repercussões dos trabalhos de Thomas Young, explicando, inclusive, que os estudos sobre a teoria ondulatória da luz e os fenômenos de interferência levaram em média sete anos para serem concluídos e que, nenhuma contribuição algébrica veio de seus estudos. Apontam que Young fez vários estudos relacionando a luz com o som, para provar a natureza ondulatória da luz, e que suas primeiras pesquisas buscaram explorar os temas de acomodação visual e acústica, servindo de introdução ao seu trabalho de óptica física.

De acordo ainda com Martins e Silva, (2019), um dos argumentos utilizados por Young, baseou-se no fato de que a luz devia mover-se mais devagar num meio mais denso, revendo assim a teoria da refração que não podia ser explicada pela teoria corpuscular. Tentava fundamentar essa ideia, assim como outras argumentações acerca da natureza ondulatória da luz, não só a partir de experimentos, mas também por meio da analogia com o som.

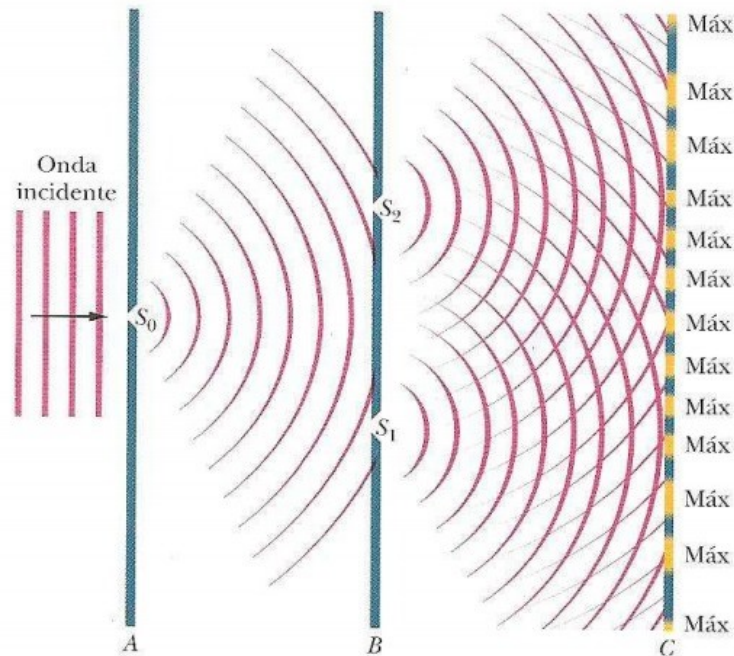
De acordo com Halliday (2009) e Martins e Silva (2019), Young desenvolveu um experimento que buscou a comprovação do princípio da interferência, o qual foi publicado na *Philosophical Transactions*, em 1804 com o título "*Experiments and Calculations Relative to Physical Optics*", onde ele afirma que realizou experimentos sobre franjas coloridas e que encontrou provas de que estas franjas são produzidas por duas porções de luz, de acordo com a transcrição dos documentos, na leitura de Martins e Silva, Young descreveu assim o experimento:

Eu fiz um pequeno orifício na persiana da janela, e cobri este com um pedaço de papel grosso, que eu perfurei com uma agulha fina. Para maior comodidade de observação, eu coloquei um pequeno espelho sem a persiana da janela, em tal posição de modo a refletir a luz do Sol, na direção aproximadamente horizontal, na parede oposta, e para fazer o cone de luz divergente passar por cima da mesa, onde havia várias telas pequenas de papel cartão. Eu trouxe para o raio do Sol um cartão deslizante, de

aproximadamente um trigésimo de uma polegada de largura, e observei sua sombra, seja na parede, ou nos outros cartões mantidos a diferentes distâncias. Além das franjas coloridas em cada lado da sombra, a própria sombra era dividida por franjas paralelas similares, de dimensões menores, diferindo em número, conforme a distância que a franja era observada, mas deixando o meio da sombra sempre branco. Desta maneira, essas franjas eram os efeitos comuns das porções de luz passando em cada lado do cartão deslizante; infletidas, ou melhor difratadas, na sombra. Pois, uma pequena tela sendo colocada a poucas polegadas do cartão, de modo a receber qualquer uma das bordas da sombra na sua margem, todas as franjas que tinham antes sido observadas na sombra na parede imediatamente desapareceram, embora a luz infletida no outro lado pudesse manter seu curso (2019, p.5)

Na interpretação de Halliday (2009), Thomas Young provou que a luz é uma onda em seu experimento de interferência. O experimento é descrito de modo que uma luz monocromática (onda incidente), incide numa fenda feita em um anteparo e é difratada. Quando esta onda incidente atravessa o anteparo, emite frentes de onda semicirculares que, ao atravessarem um segundo anteparo, acaba sendo difratada novamente por outras duas fendas, **S₁** e **S₂**, separadas por uma certa distância, e se comportam como duas fontes luminosas pontuais, essas ondas luminosas que deixam as fendas se combinam e sofrem interferência, formando um padrão de interferência composto de máximos e mínimos em uma tela de observação que é usada para interceptar a luz, esses máximos e mínimos também são chamados de franjas claras que são aquelas listras iluminadas que são observadas nas famosas fotos de figura de interferência, e as listras sem iluminação (onde as ondas se cancelam), denominadas franjas escuras, que no conjunto formam a figura de interferência.

Figura 3: Experimento de Young - a luz monocromática incidente é difratada pela fenda S_0 que pode ser considerada uma fonte luminosa pontual que emite frentes de onda semicirculares. No anteparo B a luz é difratada ao passar pelas outras duas fendas S_1 e S_2 . Quando as ondas deixam estas fendas, elas se combinam e sofrem interferência, formando um padrão de interferência com máximos e mínimos que pode ser observado na tela C.

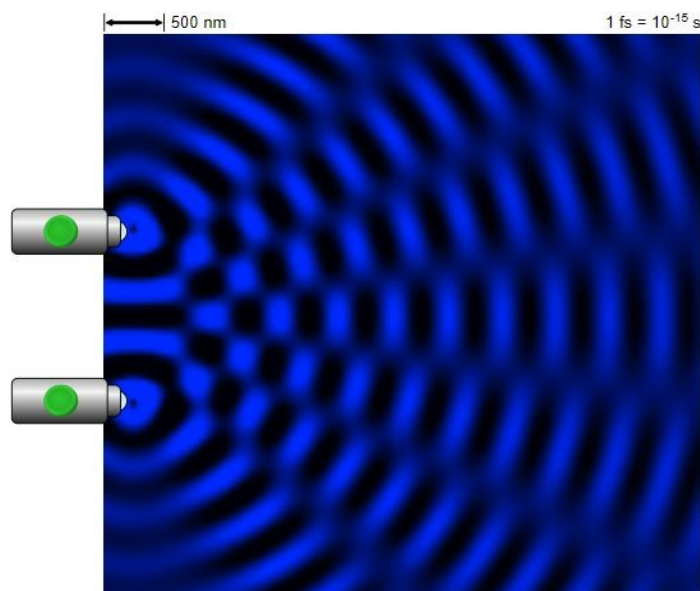


Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009

Em outra interpretação, pode-se dizer que através deste experimento, Young (Figura 3) descobriu que a luz que incide e atravessa dois furos de alfinete muito próximos, produz franjas claras e escuras sobre uma tela colocada atrás deles. As franjas brilhantes ou claras, se formam quando a crista de uma onda luminosa que veio de um dos furos se superpõe simultaneamente, na tela, à crista de uma onda luminosa que veio do outro furo. As franjas escuras se formam quando a crista de uma onda que veio de um dos furos se superpõe simultaneamente, na tela, ao vale de uma onda luminosa que veio do outro furo (Hewitt, 2015, p.550).

Outra possibilidade para compreensão do fenômeno está demonstrada na figura 4, exemplo de interferência de ondas na água.

Figura 4: Interferência – este é um exemplo de interferência produzida através de duas torneiras gotejando água, apresentam o mesmo fenômeno que representado na figura 3 para a luz. É possível verificar a emissão das ondas por cada uma das torneiras e as mesmas se combinando e formando um padrão de interferência, com máximos e mínimos.



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Ainda de acordo com as interpretações de Martins e Silva (2019), Young desenvolveu estudos e experimentos para mostrar que a Lei da Interferência concordava com diversos fenômenos, como a formação de franjas de difração, arco íris entre outros.

“Entre os principais aspectos dos trabalhos de Young, podemos concluir que ele: 1) recorre sempre a analogias para explicar os fenômenos luminosos, como a analogia com fluidos, corpos elásticos e, principalmente, a analogia com o som; 2) defende a realização de experimentos para corroborar as conjecturas feitas acerca dos fenômenos luminosos; 3) não se utiliza de formulações algébricas, mas utiliza raciocínios geométricos; 4) cita o nome de outros estudiosos, a exemplo de Huygens, Newton e Euler.” (Martins e Silva, 2019, p.5).

Assim Young mostrou que a luz descrevia assinatura de onda através do fenômeno da difração e interferência, pois além de apresentar características de onda, explica fenômenos luminosos que somente a teoria ondulatória pode explicar, pois são incompatíveis a teoria corpuscular e, de acordo com Halliday

(2009), ele conseguiu medir o comprimento de onda médio da luz solar de 570 nm, muito próximo do valor aceito nos dias de hoje, de 555 nm.

4.7 DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA - INDICAÇÃO DE QUE A LUZ É UM FENÔMENO ONDULATÓRIO

Nos experimentos de Young fala-se em luz sendo difratada, e que após esta difração elas sofrem interferência, mas o que são estes fenômenos?

Halliday (2009) explica a difração de uma onda, como sendo um fenômeno que ocorre com todos os tipos de onda, inclusive as ondas luminosas, ele apresenta o seguinte conceito: “quando uma onda encontra um obstáculo que possui uma abertura de dimensões comparáveis ao comprimento de onda, a parte da onda que passa pela abertura se alarga (é *difratada*) na região que fica do outro lado do obstáculo” (p. 81, vol.4). Huygens já citava esse alargamento em sua teoria, ao explicar a propagação de uma onda plana no vácuo e seu princípio dizia o seguinte: “Cada ponto de uma frente de onda qualquer pode ser considerado como uma fonte de pequenas ondas secundárias, que dali se espalham divergindo em todas as direções com um mesmo valor de velocidade de propagação. ” (Helwitt, 2015, p. 545).

O Princípio de Huygens pode ser melhor explicado ou visualizado quando se faz com que ondas planas incidam por aberturas de diferentes tamanhos em uma cuba com água, quanto mais larga a abertura, a onda atravessa sem sofrer alterações, mas se a abertura vai sendo diminuída, de modo que seja pequena em relação ao comprimento de onda da onda incidente, se vê a validação do Princípio de Huygens, em que cada parte da onda pode ser uma fonte para novas ondulações. “Quando as ondas incidem sobre uma abertura estreita, é fácil notar que a água que se movimenta para cima e para baixo na abertura, atua como uma fonte pontual de novas ondas... dizemos que as ondas foram difratadas. ” (Helwitt, 2015, p. 547).

Nunssenzveig (2010), também trata a difração como sendo um desvio da propagação retilínea da luz, também relacionado à deflexão de raios luminosos, a qual pode ser aplicada tanto à passagem através de uma abertura como ao espalhamento por um obstáculo. E que o grau de difração depende do comprimento de onda da luz em relação ao tamanho da abertura que projeta a sombra, de modo que quanto maior o comprimento de onda, maior a difração.

Um exemplo disso é explicado por Hewitt (2015), ele afirma que os microscopistas utilizam luz azul, ao invés de luz branca, para iluminar os objetos

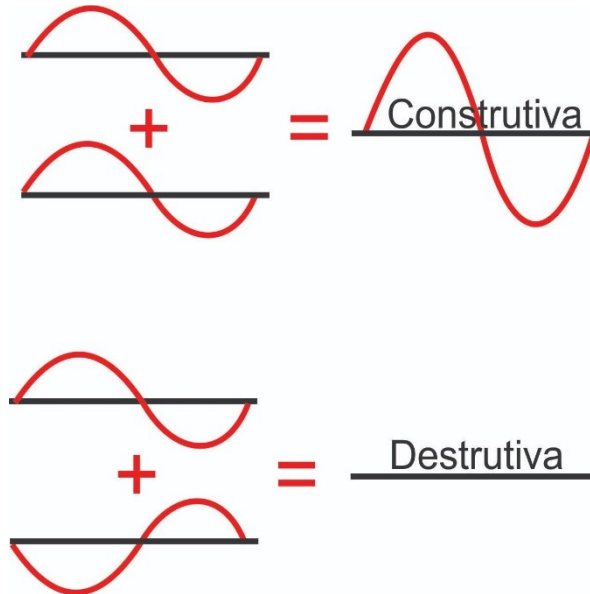
observados com o microscópio, pois com menor comprimento de onda é possível observar melhor os detalhes, pois a difração ocorre em menor grau relacionada a luz branca, da mesma forma que os golfinhos investigam sua vizinhança com ecos de pequenos comprimentos de onda – os ultrassons.

Já o arco-íris que pode ser observado na natureza, é explicado pelo fenômeno da interferência luminosa, e portanto, mais uma prova de que a luz é uma onda. Halliday, faz a seguinte explicação para o fenômeno do arco-íris:

As ondas luminosas penetram em toda a superfície da gota que está voltada para o Sol. Não vamos discutir os detalhes da trajetória dessas ondas, mas é fácil compreender que diferentes partes da onda incidente descrevem trajetórias diferentes no interior da gota. Isso significa que as ondas saem da gota em fases diferentes. Assim, para alguns ângulos de saída a luz está em fase e acontece uma interferência construtiva. O arco íris é o resultado dessa interferência construtiva. (2009, p.80, vol.4)

A interferência é característica de todo movimento ondulatório, podendo ser construtiva ou destrutiva, dependendo de como o deslocamento entre duas ou mais ondas, se superpõe: a interferência é construtiva quando a crista de uma onda se superpõe a crista de outra onda e seus efeitos individuais se somam resultando numa onda com maior amplitude, ou seja duas ondas em fase, como é o caso da percepção do vermelho do arco-íris, que é visualizado pois as ondas de luz vermelha do arco-íris saem em fase das gotas de chuva na direção que o observador percebe esta parte do arco-íris; já a interferência destrutiva ocorre quando a crista de uma onda se superpõe ao vale de outra e seus efeitos são reduzidos pois estão fora de fase uma em relação à outra. (Halliday, 2009; Hewitt, 2015).

Figura 5: Superposição de ondas – interferência construtiva quando a crista de uma onda se superpõe a crista de outra onda e seus efeitos individuais se somam resultando numa onda com maior amplitude. E na interferência destrutiva a crista de uma onda se superpõe ao vale de outra e seus efeitos são reduzidos pois estão fora de fase uma em relação à outra.



Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Thomas Young foi o primeiro a chamar atenção para o efeito da interferência e Nunssenzveig (2010) relata o exemplo dado por ele, de dois conjuntos de ondas na água que chegam juntos a um canal estreito:

“Se entrarem no canal de tal forma que as elevações de um coincidem com as do outro, produzirão como resultado, elevações maiores; mas se as elevações de um coincidem com as depressões de outro, preencherão exatamente essas depressões, e a superfície da água permanecerá em repouso. Afirmando agora que resultados semelhantes ocorrem quando duas porções de luz se juntam, e é o que chamo de lei geral da interferência da luz”. (p. 51, vol. 4)

“Os fenômenos de difração, como os de interferência, aos quais estão estreitamente ligados, são característicos de uma teoria ondulatória” (Nunssenzveig, 2010)

4.8 MAXWELL E A TEORIA ELETROMAGNÉTICA PARA A LUZ

Numa observação futura da humanidade – digamos, daqui a 10 mil anos – haverá pouca dúvida que o evento mais

significativo do século dezenove será considerado a descoberta de Maxwell das leis da eletrodinâmica. A Guerra Civil americana empalidecerá em provincial insignificância em comparação com este importante evento científico da mesma década. (Feynman, 2008, p. 585)

A grande contribuição de Maxwell para a unificação da eletricidade, ótica e magnetismo, foi mostrar que um raio luminoso é uma onda progressiva de campos elétricos e magnéticos e que o estudo da luz visível ou também chamado ótica, é uma ramificação do eletromagnetismo.

Fazendo uma releitura dos livros de Física Básica, tanto de Nunssenzeveig quanto de Halliday, no volume três de ambos autores, em qualquer das edições propostas como curso de Eletromagnetismo, é possível entender com mais clareza que Maxwell, após formular suas equações básicas que determinavam o campo eletromagnético, deduziu que as ondas eletromagnéticas se propagavam com a mesma velocidade da luz, o que o levou ao conceito até hoje aceito de que a luz é uma onda eletromagnética. Isso fica mais evidente na Lei de Faraday, que deixa explícito que a variação de um campo magnético induz a presença de variação de um campo elétrico, ou seja, os campos elétrico e magnético podem se sustentar mutuamente formando uma onda eletromagnética que se propaga no espaço. Como resultado das equações de Maxwell, temos portanto, a unificação das áreas da Física que pareciam distintas até então, ótica, eletricidade e magnetismo.

Nesta mesma releitura acima proposta, é possível entender que a Equação de Onda é determinada, a partir das quatro equações de Maxwell e alguns argumentos matemáticos como identidades vetoriais fornecidas pelo Cálculo Diferencial e Integral.

5 PROPOSTA DIDÁTICO PEDAGÓGICA - TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR

Neste capítulo será apresentada uma Proposta Didático Pedagógica, que servirá de suporte ao professor que opte em trabalhar com os recursos didáticos descritos na sequência deste texto.

Vale salientar que os recursos descritos podem ser utilizados para turmas com ou sem alunos deficientes visuais, pois é uma proposta que visa a inclusão de alunos cegos ou de baixa visão no processo de ensino de Física, mais especificamente voltado ao conteúdo Luz – onda eletromagnética.

Esta proposta, se trabalhada numa sequência de aulas, da forma como está aqui apresentada, está baseada na Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel, pois desde a primeira aula busca-se resgatar do aluno os conhecimentos prévios, através da aplicação do pré teste e com isso destacar os subsunçores necessários para dar continuidade ao processo de ensino, pois o conhecimento prévio serve de âncora, de levante, de pivô ou apoio para novos conhecimentos.

No decorrer das aulas, sob a mediação constante do professor o aluno vai estruturando seu conhecimento, através do uso dos diferentes recursos ofertados, e com o auxílio do Interacionismo de Vigotsky, pois muitas atividades são propostas em grupos, nas quais os alunos colaboram entre si na construção desse conhecimento.

Ou seja, o interacionismo de Vigotsky, vem, neste caso fortalecer a aprendizagem significativa, pois, de acordo com essa teoria, o indivíduo tem o conhecimento real e para chegar ao potencial, ele precisa interagir com outras pessoas.

Nesse sentido Vygotsky definiu a Zona de Desenvolvimento Proximal como sendo o espaço, a distância entre o desenvolvimento real e o potencial, o espaço onde as interações acontecem. “É o caminho que o indivíduo vai percorrer para desenvolver funções que estão em processo de amadurecimento e que se tornarão funções consolidadas, estabelecidas no seu nível de desenvolvimento real ” (Oliveira, 2005, p.60).

Desta forma os conhecimentos vão se consolidando e, quando o conhecimento potencial é alcançado, ele vira conhecimento real e novas interações vão acontecendo. “O aprendizado desperta processos de desenvolvimento que, aos poucos, vão tornar-se parte das funções psicológicas consolidadas do indivíduo” (Oliveira, 2005, p.60). Ainda de acordo com Oliveira, a interferência constante de adultos e crianças mais experientes no nível de desenvolvimento proximal, movimentam os processos de desenvolvimento dos membros imaturos da cultura. Daí a importância das atividades em grupo nas aulas de Física, pois os colegas podem interferir no processo e contribuir para que o conhecimento seja consolidado pelos demais colegas. Da mesma forma quando alunos videntes são colocados junto a alunos com deficiência visual, podendo contribuir na descrição daquilo que estão visualizando ou sentindo, para auxiliar na construção do conhecimento de todos os alunos.

Apresentamos na sequência, a Proposta Didático Pedagógica, embasada na Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e no Interacionismo de Vygotsky

5.1 DESCRIÇÃO DA PROPOSTA DIDÁTICO PEDAGÓGICA

5.1.1 Aula 1: Levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre ondulatória e sobre luz.

Objetivo: Analisar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo da ondulatória em geral e sobre a luz em específico.

ATIVIDADE 1: Aplicação de um questionário com uso da ferramenta disponível no Google Drive (Formulários Google). O uso desta ferramenta também permite que o aluno deficiente visual faça uso quando tiver um computador adaptado, caso não tenha este computador, o questionário pode ser aplicado em folhas digitadas para os videntes e em Braille para os alunos cegos, e ampliada aos alunos de baixa visão. Outra possibilidade é aplicar o questionário via áudio.

Nesse primeiro instante, é muito importante verificar qual o conhecimento prévio dos estudantes cegos e videntes:

- sobre ondas e sobre luz;

- como percebem a diferença de sensação térmica entre estar num ambiente fechado (sem a luz do sol direta) e um ambiente aberto (exposto a luz solar);

- como entendem o funcionamento de um smartphone (por que às vezes o sinal é bom e às vezes ruim?);

- se percebem alguma relação entre ondas sonoras e luminosas e se estas apresentam diferença;

-se ondas transportam matéria ou energia;

Conceitos estes que serão explorados no decorrer das atividades. Para tanto, a aplicação de um questionário com questões dissertativas e alternativas contribui na identificação desses conhecimentos prévios.

Este questionário servirá de parâmetro para avaliação final do conhecimento, ao término da aplicação desta proposta didático pedagógica.

5.1.2 Aula 2 e 3: Discutindo as propriedades das ondas

Objetivo: Retomar conceitos de ondulatória e, através de diferentes sentidos reconhecer, identificar algumas propriedades das ondas e fazer relações entre elas para compreender também o conceito de velocidade de propagação de uma onda.

ATIVIDADE: CONHECENDO AS PROPRIEDADES DAS ONDAS

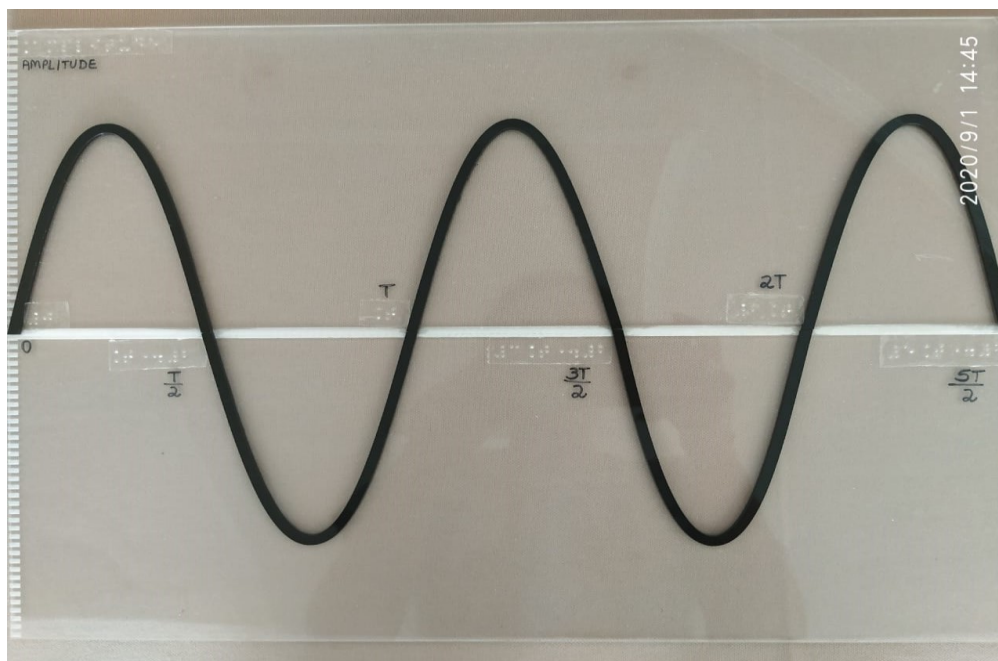
Nesta aula será feita a retomada das propriedades de uma onda (com uso de um recurso tátil –visual (figura 6 e 7), explorar os conceitos de onda, permitindo a abordagem multissensorial de conceitos relacionados às ondas – crista, vale, amplitude, comprimento de onda, frequência e período).

Levar à sala de aula os textos digitados e transcritos em Braille, que sejam capazes de explicar todas as propriedades trabalhadas. (Somente se os alunos não possuírem livros didáticos que deem conta deste conteúdo).

Ele traz os conceitos primordiais sobre ondas. O intuito desse texto é apresentar aos alunos a teoria de ondas, para posterior relação com a imagem que poderá ser visualizada e/ou sentida através do tato, fazendo uso do aparato de acrílico (Figura 6) em alto relevo para que tanto alunos videntes, quanto

alunos com deficiência visual total ou parcial, sejam capazes de compreender cada uma delas, vinculada aos seus conceitos teóricos e matemáticos, como por exemplo a apresentação da equação da velocidade de propagação das ondas, relacionando o comprimento de onda com período e frequência de oscilação.

Figura 6: Recurso I – apresentação da propagação de uma onda em alto relevo, com a representação em braille dos períodos de propagação.



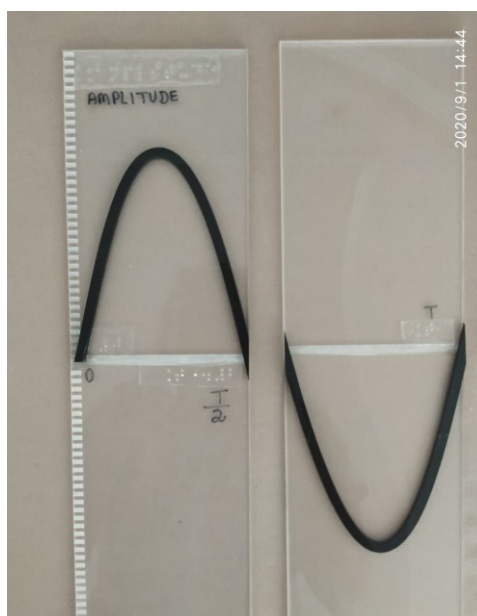
Fonte: Imagem próprio autor

Após a compreensão destes conceitos, reunir os alunos em duplas ou trios, para montarem o quebra-cabeça da onda (Figuras 8 e 9), de acordo com o aparato já tateado e/ou visualizado pelos alunos, solicitando a eles que demonstrem com uso das peças, ondas que representem:

- um período completo de oscilação (figura 7);
- um período e meio de oscilação;
- duas cristas e um vale;
- dois comprimentos e meio; (figura 8)

Outras variações podem ser feitas.

Figura 7: Um período Completo de Oscilação – Recurso I



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 8: Dois comprimentos e meio de Onda – Recurso I



Fonte: Imagem próprio autor

ATIVIDADE DE PESQUISA:

Para dar início a próxima aula, solicitar que os alunos se dividam em grupos de três ou quatro pessoas para pesquisar e discutir sobre as diferentes frequências e comprimentos de ondas sonoras perceptíveis e não perceptíveis

pelo ouvido humano, assim como as diferentes frequências e comprimentos da luz, perceptíveis e não perceptíveis pelo olho humano.

5.1.3 Aula 4 e 5: Relacionando Sons e Cores

Objetivo: Relacionar diferentes frequências do som com frequências de luz, diferenciando as ondas mecânicas das eletromagnéticas para introduzir o conceito da natureza ondulatória da luz.

ATIVIDADE 1: Discussão da pesquisa sobre as frequências e comprimentos de onda do som e da luz, com o objetivo de levá-los a perceber as relações e diferenças entre estes dois tipos de onda.

ATIVIDADE 2: Uso do piano (Figura 9)

-Apresentar aos alunos, um texto que trata das relações entre as frequências das notas musicais e as cores da decomposição da luz branca, assim como das diferenças entre uma onda mecânica e eletromagnética.

-Solicitar aos alunos que façam uso do piano (Figura 9), e compreendam a relação entre a frequência das notas musicais com a respectiva frequência das cores da luz (Figura 10)













- Calcular o comprimento de onda dos diferentes espectros da decomposição da luz branca, utilizando a equação da velocidade.

Figura 9: Recurso III – representa a imagem de um piano virtual com as notas musicais utilizadas na demonstração aos alunos.



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 10: Freqüência das Notas Musicais em Relação a Freqüência das ondas de luz e suas cores

Nota musical	Freq. Áudio (Hz)	Cores	Freq. Luz (Hz)
Fa #	370,0		$407 \cdot 10^{12}$
Sol	392,0		$431 \cdot 10^{12}$
Sol #	415,3		$457 \cdot 10^{12}$
La	444,0		$484 \cdot 10^{12}$
LA #	466,2		$513 \cdot 10^{12}$
Si	493,9		$543 \cdot 10^{12}$
Dó	523,3		$575 \cdot 10^{12}$
Dó#	554,4		$610 \cdot 10^{12}$
Ré	587,3		$646 \cdot 10^{12}$
Ré #	622,3		$684 \cdot 10^{12}$
Mi	659,3		$725 \cdot 10^{12}$
Fá	698,5		$768 \cdot 10^{12}$

Fonte: Imagem próprio autor

ATIVIDADE 3: Uso do aplicativo *Frequency Generator* (Recurso II- figura 11 e figura 12)

O professor pode manter os grupos da pesquisa e solicitar antecipadamente que instalem o referido aplicativo em seus celulares.

O tutorial de instalação e uso do aplicativo encontra-se em um vídeo com áudio disponível no link <https://youtu.be/-arPm60fj-Y>, o que facilita a utilização do mesmo, por todos que necessitem ou não de alguém para auxiliar.

- Solicitar aos alunos que reproduzam no aplicativo algumas frequências, como por exemplo a menor e a maior frequência obtida pelas notas musicais, e respondam:

Qual a relação entre estas notas musicais e as cores da luz? (espera-se que o aluno seja capaz de identificar que a menor frequência do som equivale a menor frequência de luz, que é a cor vermelha, e que o maior comprimento de onda e a maior frequência de nota musical corresponde a luz violeta)

- Demonstrar, com uso de um aparato em acrílico (alto relevo) a maior e menor frequência das notas musicais (essas imagens serão visualizadas no aplicativo – Recurso II, e demonstradas em alto relevo aos alunos cegos.

- Solicitar aos alunos que imaginem essa onda com frequência na ordem de grandeza 10^{12} vezes maior, como por exemplo, se uma maçã tem massa de 50g, essa massa em ordem de grandeza de 10^{12} vezes maior (50.000.000.000.000 g) corresponde a qual objeto? Assim como é difícil de imaginar essa massa, quanto a essa onda eletromagnética, poderia ser percebida por nossos olhos? Porquê?

Solicitar aos alunos que façam diferentes observações: (A critério do professor, conforme o tempo disponível para o desenvolvimento da aula, porém, são atividades bem importantes e que necessitam de um tempo maior para o caso de alunos cegos – talvez uma aula a mais)

1-Manter o volume e alterar as frequências. Descrever o que foi observado;

- fazer um print de tela com duas frequências diferentes, para comparar as imagens.

2-Manter a frequência e alterar o volume. Descrever o que foi observado;

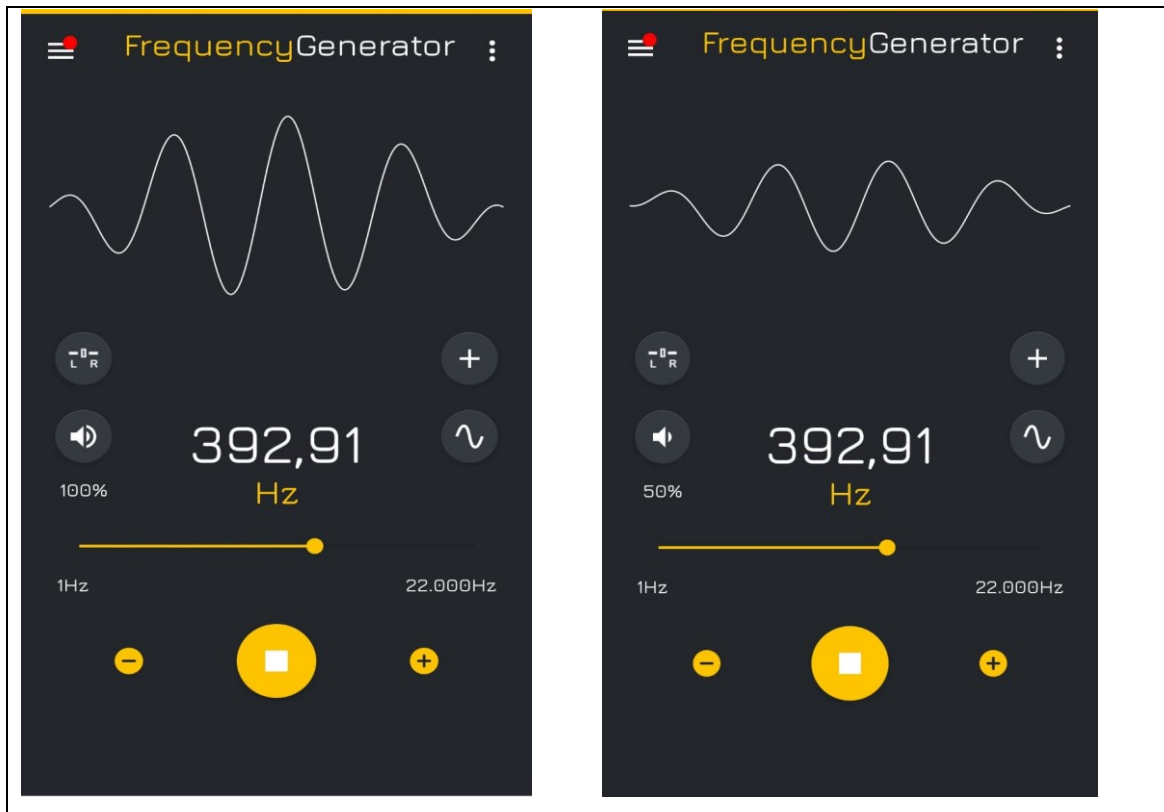
- fazer um *print* de tela com dois volumes diferentes, para comparar as imagens.

3-Manter o volume em 50% e alterar a frequência, lentamente e tentar perceber a partir de qual frequência e até qual frequência os integrantes identificam o som. Todos têm a mesma percepção?

4-Manter o volume em 70% e colocar a mão na saída do som, alterando lentamente a frequência. Descreva o que é sentido através do tato, verificar se ocorre alguma sensação diferente de acordo com a alteração da frequência? Essa vibração está relacionada a qual propriedade?

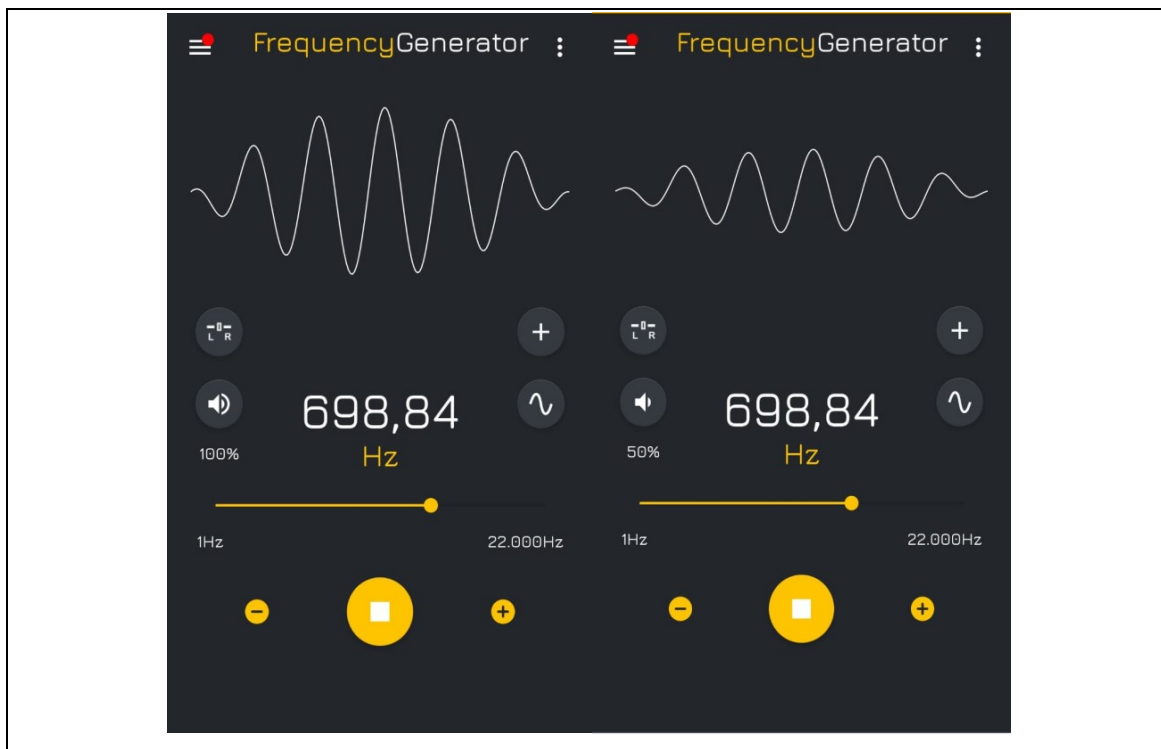
No caso de ter alunos cegos, as imagens printadas podem ser reproduzidas, pelos próprios colegas (alunos videntes) em um papel, utilizando a sobreposição com barbante ou cola quente, de modo que o aluno cego tenha a mesma percepção da imagem obtida, para identificação das propriedades das ondas.

Figura 11: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical SOL, com volumes diferentes, em 100% e 50%.



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 12: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical FA, com volumes diferentes, em 100% e 50%.



Fonte: Imagem próprio autor

5.1.4 Aula 6 e 7: Compreendendo a luz

Objetivo: Compreender a natureza ondulatória da luz – direção e sentido de propagação dos vetores campo elétrico e magnético, assim como do vetor densidade de fluxo de energia conhecido como Vetor de *Poynting*, dando ênfase a explicação qualitativa, sem deixar de lado a noção quantitativa na análise dos resultados obtidos com uso dos recursos IV e V.

ATIVIDADE 1: Apresentação da maquete (Recurso IV: figura 13 e figura 14) a qual representa as propriedades geométricas de uma onda eletromagnética em um determinado instante.

- 1- Solicitar aos alunos que façam a observação tátil-visual para percepção do comprimento de onda e amplitude dos campos elétricos e magnéticos, assim como a observação de que estes campos se encontram em planos perpendiculares, ou seja, formando ângulo de 90° entre si.
- 2- A partir da observação anterior também pode-se conceituar que a luz é uma onda transversal (direção de propagação perpendicular à de oscilação).

- 3- Discussão do texto de apoio “Telefone”. Britannica Escola. Disponível em < <https://escola.britannica.com.br/artigo/telefone/482652>>.

Figura 13: Maquete da onda eletromagnética



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 14: Vista parcial e aproximada Maquete da onda eletromagnética



Fonte: Imagem próprio autor

ATIVIDADE 2 – opcional: Utilização do Recurso V (Figura 15) – Vetor de Poynting: compreendendo a onda eletromagnética como frente de onda esférica de uma fonte puntiforme

1- Aprofundar a discussão lançando alguns questionamentos:

- Como acontece a comunicação via telefone com fio? E via smartphone? Eles apresentam o mesmo princípio de funcionamento?

De acordo com as atividades e discussões anteriores, espera-se que os estudantes tenham a compreensão de que o telefone com fio usa ondas mecânicas para funcionar enquanto outros meios de comunicação, como o rádio, a TV ou celular, usam as ondas de natureza eletromagnéticas. Esperamos que os estudantes entendam que as ondas eletromagnéticas sofrem menos atenuação que ondas mecânicas e são largamente usadas na telecomunicação.

- Como cada um de vocês sente a luz do sol? Como ela chega até nós? A sensação de diferença de temperatura entre locais fechados (interior de uma casa) e locais abertos (exposição direta ao sol)?

- O que é uma onda? Como ela se propaga? Como vai de um ponto para outro?

Com estes questionamentos, espera-se que os alunos demonstrem que estas sensações não ocorrem via contato, e que ele não consegue explicar. Mas esta compreensão poderá ser obtida através da próxima atividade.

2- Utilizar o Recurso V (figura 15) - Opcional, para compreensão da densidade do fluxo de energia:

- Apresentar o dispositivo arduino (Figura 16) aos alunos e explicar seu funcionamento. Solicitar aos alunos que ativem o recurso "ok google" em seus smartphones, solicitando ao mesmo que acenda a lanterna.

- Com a lanterna acesa o smartphone deve ser aproximado e afastado do arduino que emitirá sons de diferentes intensidades conforme ocorre a alteração da intensidade da fonte luminosa, devido à distância.

Esta parte do experimento, levará os alunos a compreenderem a questão da energia transportada por uma onda, e que esta intensidade é inversamente proporcional ao raio elevado ao quadrado.

- Aos alunos cegos, e videntes também, podem ser apresentadas esferas de diferentes raios (podem ser esferas de isopor), utilizadas concomitantemente ao dispositivo, para demonstrar a questão da tridimensionalidade da onda: A área da esfera está aumentando, é porque a intensidade diminui com o raio ao quadrado.

- Fazer a relação com nossa principal fonte de Luz e calor, o Sol. Levá-los a compreenderem que quanto mais próximos da fonte maior será a energia recebida, ou seja, como os corpos na Terra estão a uma distância de $1,5 \cdot 10^{11}$ m do Sol, a energia sentida é bem menor.

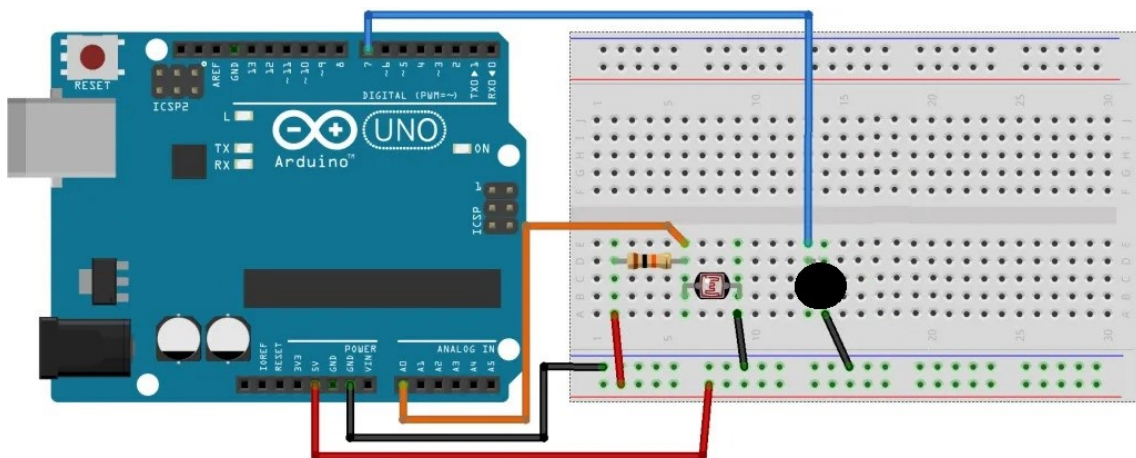
- Apresentar a relação matemática da Intensidade luminosa: $I = P/4\pi r^2$, considerando a distância Terra-Sol e que a Potência irradiada do Sol é de aproximadamente $4 \cdot 10^{26}$ Watts, solicitar aos estudantes que calculem a Intensidade luminosa (energia radiante) percebida na Terra – ou somente demonstrar isso a eles, fazendo um comparativo com a energia muito próximo ao Sol. O estudante será capaz de entender que esta energia é muito menor aqui na Terra, ou seja, na ordem de grandeza de 10^3 W/m², enquanto muito próximo a fonte na ordem de grandeza de 10^{25} W/m².

Figura 15: Recurso V (Versão I)



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 16: Recurso V - Arduino (Versão II)



Fonte: Imagem próprio autor

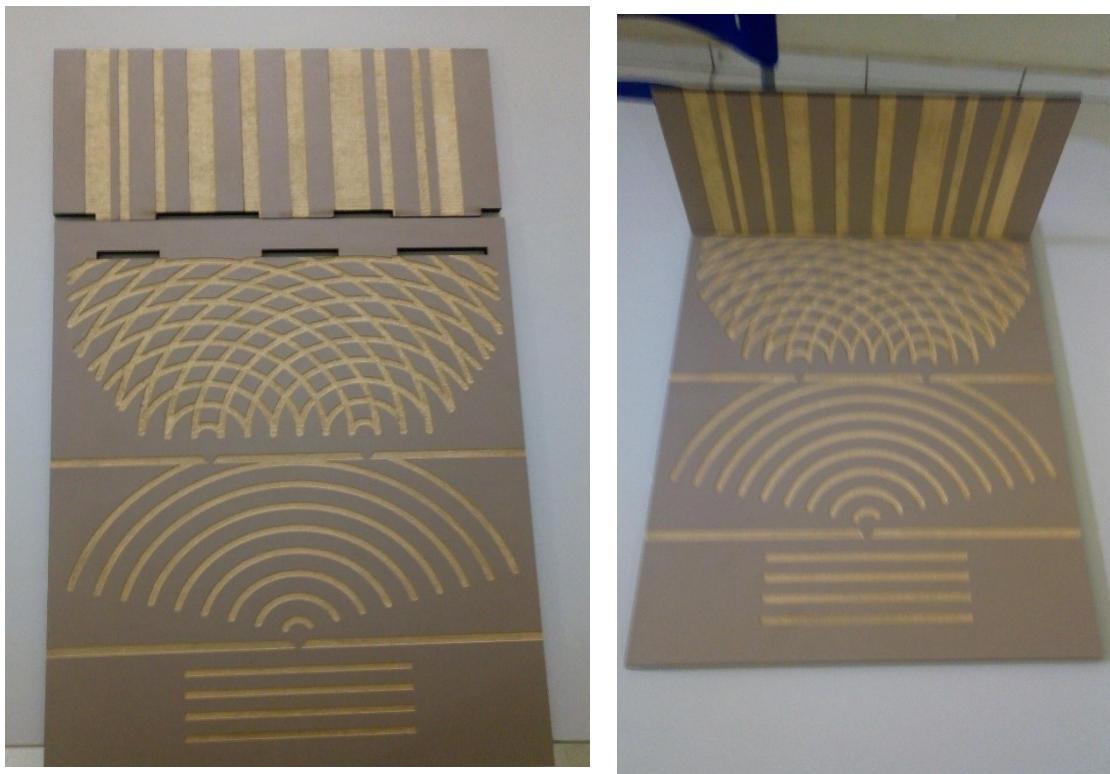
5.1.5 Aula 8: _Interferência – uma indicação de que a luz é um fenômeno de natureza ondulatória.

Objetivo: Compreender a natureza ondulatória da luz – a partir da interpretação de fenômenos ondulatórios como a Interferência. Dando ênfase a explicação qualitativa, com utilização de um recurso tátil-visual.

ATIVIDADE 1: Leitura e discussão de um texto que trata do experimento Thomas Young, o qual pode ser adaptado do capítulo 4 desta dissertação, subitem 4.6.

Apresentação do Recurso VI (figura 17), que representa o fenômeno de interferência ondulatória, este recurso pode ser somente visualizado pelos alunos que enxergam e tateados, sob orientação do professor, pelos alunos cegos ou baixa visão.

Figura 17: Representação do Fenômeno de Interferência Ondulatória



Fonte: Imagem próprio autor

5.1.6 Aula 9: Avaliação

Aplicação de um pós teste, com o mesmo questionário utilizado no pré teste, objetivando verificar o conhecimento construído pelos alunos após a realização das aulas sugeridas nesta proposta.

6 RELATO DE EXPERIÊNCIA COM ALUNOS CEGOS: VALIDAÇÃO DOS RECURSOS DIDÁTICOS

Neste capítulo será relatada a experiência obtida na validação dos recursos didáticos para o aprendizado dos conceitos por alunos deficientes visuais totais, ou seja, alunos cegos.

Antes de fazer o relato, cabe destacar que neste momento, o mundo passa por uma situação atípica de pandemia, situação essa, que exigiu da população, medidas de distanciamento social, impedindo que esta proposta de trabalho fosse aplicada na íntegra para uma sala de aula presencial. Mesmo havendo todo um planejamento e execução de aulas remotas no Estado do Paraná, via Classroom, ficou inviabilizada de ser aplicada via sala de aula virtual, devido ao fato de que os recursos táteis, visuais e auditivos que foram desenvolvidos e aqui sugeridos, só fazem sentido via contato com cada um dos recursos propostos.

Diante dessa situação, os recursos foram aplicados, de forma individualizada, para duas alunas cegas residentes no município de Francisco Beltrão, sob a supervisão de um membro da equipe gestora de cada escola.

A aluna A, encontra-se matriculada no quarto ano do Curso de Formação de Docentes – nível médio e só teve contato com o conteúdo de Física no terceiro ano, ou seja, tem um conhecimento bem restrito quanto aos conteúdos desta disciplina.

A aluna B cursa Bacharelado em Engenharia de Software, na UTFPR, Campus de Dois Vizinhos, portanto já concluiu o Ensino Médio, o qual cursou no Colégio onde cada um dos recursos indicados foi testado, portanto essa aluna teve contato com os conteúdos de Física durante os três anos de Ensino Médio Regular

Para a aluna A os recursos foram aplicados num Colégio Estadual de um município da região sudoeste do estado do Paraná, sob a supervisão da pedagoga e coordenadora do curso de Formação de Docentes no dia 11 de setembro de 2020. Enquanto que, para a aluna B, a aplicação, para validação destes recursos, foi realizada em outro Colégio Estadual do mesmo município

(colégio onde a aluna cursou todo o ensino médio), sob a supervisão da diretora do estabelecimento de ensino, no dia 16 de setembro de 2020.

A aplicação destes recursos demorou em torno de três horas e trinta minutos para cada uma das alunas, o equivalente a 4,2 aulas de cinquenta minutos. Tempo referente a metade do número de aulas previsto e sugerido na Proposta Didático Pedagógica.

Essa diferença no tempo se deve a dois fatores que merecem destaque. Primeiro, que a proposta não foi aplicada na forma como está sugerida, pois não teve o tempo de pesquisa e discussão entre os colegas, haja visto que foi aplicado a um único estudante por vez, devido as aulas não estarem sendo presenciais e para manter o protocolo de distanciamento social, com o objetivo de validar os experimentos quanto a sua aplicabilidade para alunos cegos. Segundo, para validar os recursos, foi necessária a abordagem conceitual dos conteúdos envolvidos, senão os mesmos não teriam qualquer significado e, esta abordagem conceitual feita para um único aluno acaba levando menos tempo do que para uma sala de aula com 35 ou 40 alunos, devido a rotina de uma sala de aula ser diferente (são vários fatores envolvidos, como a indisciplina em muitos casos, cita-se isso por experiência).

Na sequência será explanada a forma como cada uma das alunas reagiu a cada um dos recursos apresentados, e a relação feita com o conteúdo envolvido.

Antes do contato presencial, tivemos uma comunicação via celular, utilizando de mensagens via áudio, sendo possível aplicar o questionário do pré-teste para poder entender de que ponto deveria partir a intervenção pedagógica docente para explicação dos conteúdos envolvidos.

De forma resumida, a aluna A disse não saber responder as três primeiras perguntas relacionadas ao conceito e propagação de uma onda e nem mesmo explicar o que é luz. Relatou que as componentes da onda são velocidade, aceleração, força e movimento, que as ondas transportam energia e que, quanto a classificação das ondas (mecânicas eletromagnéticas e de matéria), todas as ondas, indiferente de sua classificação, se propagam com a mesma velocidade da luz no vácuo que é de aproximadamente 300.000.000 m/s.

A aluna A ainda registrou que a opção que melhor define o conceito de natureza da luz era a alternativa A, que descreve que Luz pode ser onda e

partícula pois todos os fenômenos luminosos são explicados por ambas as teorias. Quando questionada sobre o princípio de funcionamento dos aparelhos de telecomunicação (telefone com fio e smartphone), registrou a alternativa B - O telefone com fio usa ondas mecânicas para funcionar enquanto outros meios de comunicação, como o rádio, a TV ou celular, usam as ondas de natureza eletromagnética, pois sofrem menos atenuação.

Na última pergunta que visa entender como o aluno sente ou percebe a luz do sol e sua intensidade em diferentes locais ou horários, a aluna respondeu *“Sinto através da pele, quando saio pra fora de casa consigo perceber a diferença de intensidade, por exemplo, de manhã e início da tarde mais forte e final da tarde mais fraco. Acho que é isso, sinto na pele”*

A aluna B, demonstrou conhecimento conceitual referente a alguns conteúdos, nas primeiras perguntas conceituou onda como uma forma de *“transformação de energia tipo ondas sonoras, de raio x e outros exemplos as ondas marítimas e quando algum objeto cai na água. Ondas se propagam em uma direção, duas direções e três direções”*.

Sobre o que é Luz a aluna B respondeu *“ Luz é uma forma de radiação eletromagnética que pode perceber através do olho”*. Na questão relacionada às componentes da onda a aluna respondeu amplitude, período, frequência e velocidade, afirmando na sequência que Luz transporta energia e que, quanto a classificação das ondas (mecânicas eletromagnéticas e de matéria), as ondas mecânicas se propagam apenas em meios materiais e as ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagar.

Na questão relacionada quanto a selecionar a opção que melhor definia o conceito da natureza da luz, a aluna B respondeu *“ alternativa b - Luz é uma onda eletromagnética que se propaga, no vácuo, com velocidade de aproximadamente 300.000.000 m/s”*. E, quando questionada sobre o princípio de funcionamento destes aparelhos de telecomunicação, (telefone com fio e smartphone), a aluna B respondeu *“ alternativa a – todos os tipos de telefone, sejam eles fixos ou móveis, com fio ou sem fio, funcionam com o mesmo princípio de transmissão via ondas de rádio que são ondas mecânicas”*.

Na última pergunta que visa entender como o aluno sente ou percebe a luz do sol e sua intensidade em diferentes locais ou horários, a aluna respondeu

que “o sol chega através de ondas e podemos perceber a intensidade dele em diferentes horários”.

Analisando as respostas das duas alunas, percebe-se que a aluna B demonstra um conhecimento dos conceitos de ondulatória e da luz, um pouco mais aprofundados em relação a aluna A, talvez pelo fato de que a aluna A, como citado no início, só teve a disciplina de Física no terceiro ano de Formação Docente, e que bem provável que este conteúdo, assim como muitos outros, não tenham sido trabalhados neste curto período de tempo. Já a aluna B estudou Ensino Médio Regular e teve estes conteúdos estudados.

Deste modo, a apresentação dos recursos didáticos e o encaminhamento do conteúdo foi um pouco diferente com cada uma das alunas, como pode ser visto na sequência deste texto.

Recurso I: Quebra cabeça em alto relevo – discutindo as propriedades das ondas.

Antes de apresentar o aparato a cada uma das alunas, foi realizada a explicação (para a aluna A) e retomada deste conteúdo (para a aluna B), de forma oral e tátil, através do aparato com o desenho da onda.

Primeiramente o aparato foi colocado diante de cada uma das alunas para elas tatearem e tentarem fazer o reconhecimento. Ambas as alunas relataram não saber o que era aquilo. Então, partindo dos conceitos e das respostas dadas por cada uma delas, realizei a relação de cada uma das propriedades da onda com o aparato em acrílico.

Figura 18: Utilização do Recurso I com Alunas com Deficiência Visual (da esquerda para a direita Aluna A e Aluna B)

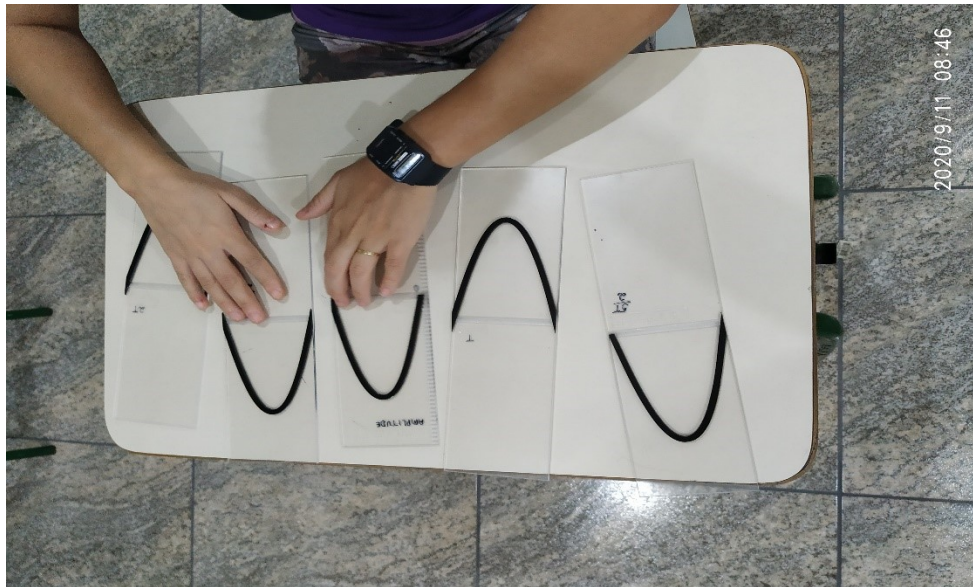


Fonte: Imagem próprio autor

Após a análise detalhada através do tato, foi solicitado às alunas que, utilizando as peças separadas do recurso, no formato de quebra-cabeça, montassem diferentes situações de propagação da onda, como por exemplo, uma onda e meia, ou duas oscilações completas, ou meio período de onda.

A aluna A conseguiu realizar todas as montagens, mas sem considerar os valores em braille no eixo do período, nem mesmo o eixo da amplitude, iniciando do zero, ou seja, ela compreendeu que cada uma das peças representava meio período de onda ou meio comprimento, mas teve dificuldade na interpretação matemática na sequência dos valores $(0, T/2, T, 3T/2, 2T, 5T/2)$. Disse ela que nunca entendeu fração direito, e que não gosta muito de matemática.

Figura 19: Aluna A montando o quebra cabeças, iniciou a montagem, não na origem dos eixos ou zero, mas da última peça do quebra-cabeça



Fonte: Imagem próprio autor

Deixei ela montar sem interromper, um comprimento e meio de onda e depois questionei sobre qual a peça que representaria o início, ela respondeu que seria o zero, então perguntei se estava correta a figura que ela tinha formado e, após reflexão montou novamente, solicitando ajuda na interpretação dos valores fracionais.

Figura 20: Aluna A montando um comprimento e meio de onda



Fonte: Imagem próprio autor

A aluna B, conseguiu realizar a montagem com facilidade, observando detalhadamente os valores dos períodos.

Figura 21 - Aluna B montando um comprimento e meio de onda



Fonte: Imagem próprio autor

Na sequência a aluna B foi montando a onda com todas as peças e relatando o período λ e comprimento de onda relacionada em cada situação.

Figura 22 - Aluna B montando a oscilação completa e explicando cada uma das peças



Fonte: Imagem próprio autor

A aluna B não demonstrou dificuldade com a leitura em Braille das peças, nem mesmo com a interpretação dos valores, relatou não ter dificuldade com cálculos.

Ambas as alunas avaliaram que o quebra-cabeça é válido para um aluno cego entender o que é uma onda e suas características, a aluna B, demonstrou entender bem os conceitos, no pré-teste, mas quando a onda foi colocada na sua frente para tatear, disse não saber o que era aquilo, ou seja, trazia em sua memória o conceito, mas não tinha noção de como realmente uma onda era representada, já a aluna A, sequer o conceito sabia. Mas ambas conseguiram compreender, após o uso do Recurso I, fazendo inclusive, a relação com as características de uma onda.

As alunas avaliaram de forma positiva tanto o material utilizado, quanto as diferenças de alto relevo para demonstração da onda e baixo relevo os eixos da amplitude e período de oscilação. Avaliaram também de forma positiva a escrita em Braille que foi feita com uso da reglete e punção sobre o *papel contact* e colado sobre as peças (isso demonstrou o quão sensível é o tato de uma pessoa cega).

Recurso II: Gerador de Frequência – discutindo a diferença entre onda mecânica e eletromagnética e Recurso III: Piano – relacionando sons e cores

Estes dois recursos se complementam e tem o objetivo de compreender e relacionar diferentes frequências do som com frequências de luz, diferenciando as ondas mecânicas das eletromagnéticas para introduzir o conceito da natureza ondulatória da luz.

Foi feita uma breve explanação conceitual sobre a diferença entre as ondas mecânicas e eletromagnéticas seguidas da apresentação e explicação dos Recursos II e III.

Ao apresentar o Piano – Recurso II, fiz uma breve explanação sobre as frequências e comprimentos de onda do som e da luz, com o objetivo de levá-los a perceber as relações e diferenças entre estes dois tipos de onda, assim como a relações entre as frequências das notas musicais e as cores da decomposição da luz branca, assim como das diferenças entre uma onda mecânica e eletromagnética.

Figura 23: Aluna A fazendo o reconhecimento e leitura das notas musicais



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 24: Aluna B fazendo o reconhecimento e leitura das notas musicais



Fonte: Imagem próprio autor

À medida que cada uma das alunas tocava uma das notas musicais, fazia a relação com a cor correspondente explicitando que a frequência da luz

correspondente àquele som é emitida na ordem de grandeza de 10^{12} vezes maior que a frequência emitida por aquela nota musical.

Paralelamente ao uso do piano, foi feita a utilização do aplicativo *Frequency Generator* (Recurso II), ou seja, a aluna tocava uma das notas musicais e esta era reproduzida por mim no aplicativo, para que pudessem perceber via tato no alto falante, a diferença de vibração emitida de acordo com a alteração da frequência.

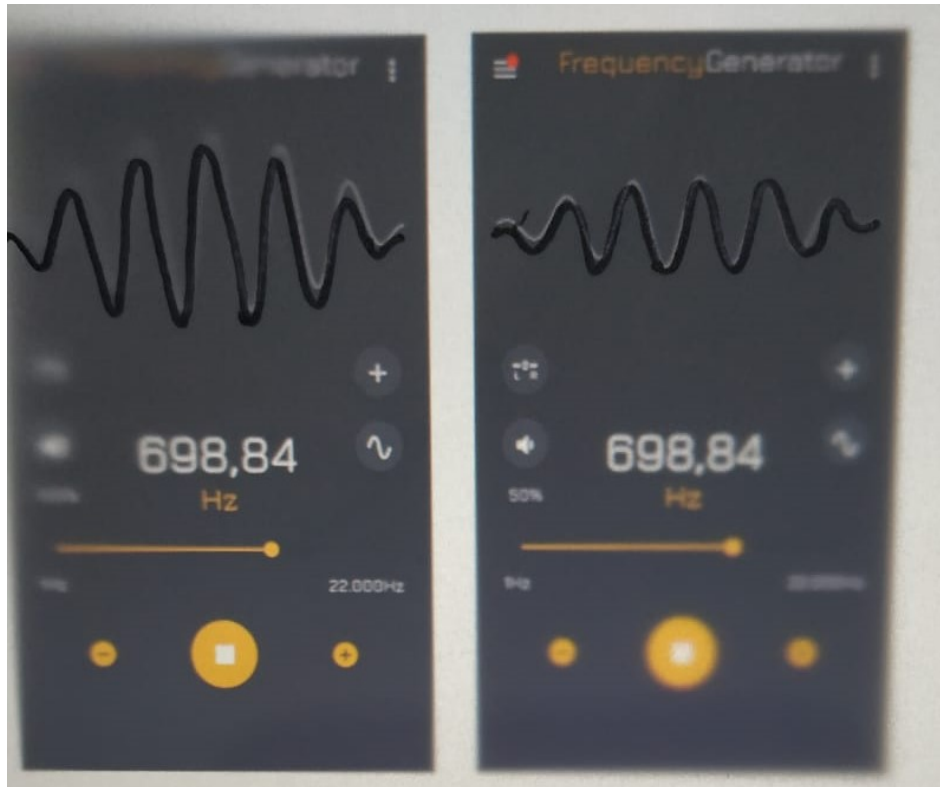
A aluna A teve acesso ao aplicativo somente neste momento presencial, já a aluna B, teve acesso antecipado pois o link do vídeo tutorial de instalação e uso foi enviado via e-mail, com prévia autorização, pois a aluna B reside com a mãe e teve também o apoio da irmã, que foi visita-la no final de semana, colaborando para o desenvolvimento desta atividade. Para a aluna A, não foi feito o envio do tutorial pois a aluna reside com seu esposo que também é cego e, portanto, não poderia ajudá-la a desenvolver a atividade em casa.

No momento presencial ambas as alunas avaliaram como positivos os recursos utilizados para a compreensão das frequências do som e das cores da luz, demonstraram terem compreendido a diferença entre onda mecânica e eletromagnética, avaliaram que o aplicativo gerador de frequência, através da vibração foi essencial para compreender a frequência de uma onda, conseguindo distinguir a vibração aumentando e diminuindo de acordo com a mudança nos valores da frequência emitida, perceberam inclusive que à medida que a frequência aumentava, quando chegava num determinado valor como da frequência da nota musical Mi já não é possível perceber a vibração no celular, devido a frequência já ser alta, então fez-se a relação para que imaginassem esse valor multiplicado por 10^{12} (para as alunas melhor compreenderem exemplifiquei acrescentando doze zeros ao valor numérico - 65900000000000 Hz).

Conforme descrito acima, a aluna B teve auxílio da irmã e da mãe para realização da atividade, em casa, utilizando o tutorial de instalação e uso do aplicativo, sendo assim, proporcionaram para a aluna a representação da onda conforme aparece na tela, demonstrando os comparativos de amplitude e frequência, com alteração de volume e valores de frequência. No tutorial de instalação, assim como na descrição dos recursos a sugestão é reproduzir as

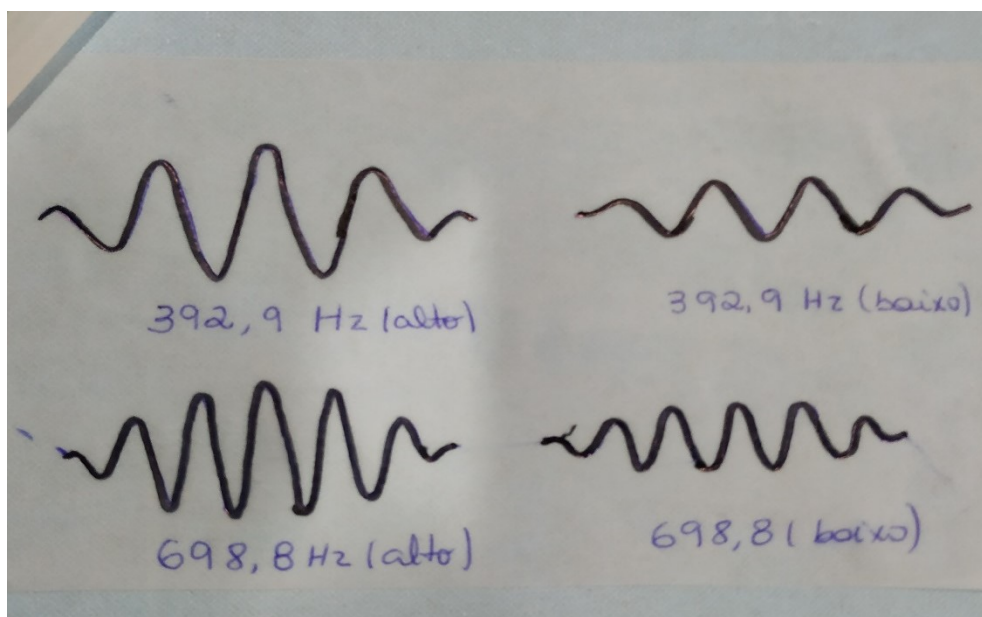
diferentes oscilações com barbante, mas como não dispunham de barbante em casa, fizeram a representação com cola quente, conforme as figuras abaixo:

Figura 25 - Papel vegetal sobre a imagem retirada da tela para reprodução do desenho



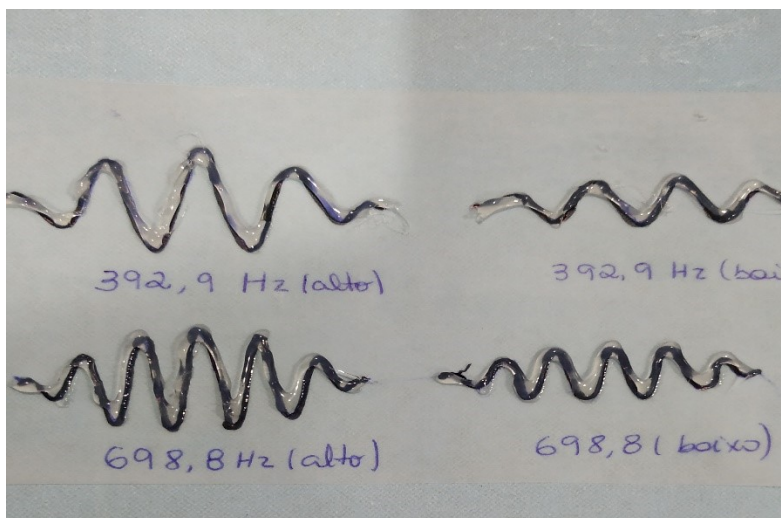
Fonte: Imagem próprio autor

Figura 26 - Imagem reproduzida no papel vegetal



Fonte: Aluna B (2020)

Figura 27 - Imagem reproduzida no papel vegetal com alto relevo feito de cola quente



Fonte: Aluna B (2020)

A aluna B relatou que a irmã instalou o aplicativo e fez alguns testes, alterando a frequência e o volume, escolheu duas frequências, que estão representadas nas imagens e alterou o volume para as mesmas frequências, fez *print* de tela e, com papel manteiga e canetinha copiou as imagens e sobre elas passou cola quente para substituir o barbante e garantir o alto relevo. O papel manteiga foi colado sobre uma cartolina para dar mais firmeza ao material.

Para a aluna A, não foi feita esta abordagem comparativa, por falta de tempo para reproduzir as imagens printadas no momento presencial, então foi feita uma abordagem conceitual.

A aluna B teve um pouco de dificuldade em compreender, através do tato, as imagens reproduzidas com cola quente, pois as figuras ficaram pequenas dificultando a contagem das oscilações completas efetuadas em determinada frequência, principalmente no maior valor de frequência. Por esse motivo, a atividade demorou um pouco mais e precisou bastante da minha intervenção para a aluna compreender que, mantendo a frequência e alterando o volume o número de oscilações se mantém constante e a amplitude sofre alteração. Por esse motivo sugere-se que a reprodução das oscilações, sejam ampliadas para posterior apresentação em alto relevo ao aluno cego, pois em imagem muito pequena, a cola quente ou mesmo o barbante ficam muito próximos e o aluno não consegue distinguir ou contar as oscilações.

Na percepção do som produzido no aplicativo e a vibração correspondente a determinada frequência, a aluna A comentou: “*então, luz é*

onda, assim como som é onda, as ondas de luz chegam até nós e sentimos a intensidade pelo calor e a onda do som... que interessante, é por isso que eu percebo, que eu sinto algo passando por mim quando o rádio está ligado, é a onda do som passando por mim". Até a pedagoga questionou: "você sente isso?". Ela respondeu: "Sim eu sinto".

Outro detalhe importante a ser observado é quanto ao volume, ao fazer uso do aplicativo com alteração de volume não é aconselhável reproduzir em volume máximo quando demonstrado para alunos cegos, pois a audição deles é muito aguçada e o volume alto acaba deixando-os irritados, então a indicação é de oscilar os volumes na medida que seja possível perceber a diferença de amplitude na onda, sem prejudicar a audição ou o acompanhamento da atividade pelo aluno deficiente visual.

À medida que os recursos foram utilizados fiz uma breve explanação do conteúdo, numa abordagem conceitual, com objetivo de que as alunas entendessem a diferença entre uma onda mecânica e eletromagnética (meios de propagação, comparativos de velocidade do som e da luz), sem utilizar cálculos matemáticos ou fórmulas.

Recurso IV: Maquete da onda eletromagnética

Esta maquete traz a representação das propriedades geométricas de uma onda eletromagnética em um determinado instante.

Foi solicitada às alunas que fizessem a observação tátil para percepção do comprimento de onda e amplitude dos campos elétricos e magnéticos, assim como a observação de que estes campos se encontram em planos perpendiculares, ou seja, formando ângulo de 90° entre si.

Toda a observação tátil necessitou de orientação, primeiramente as alunas tatearam para reconhecimento do objeto, e conseguiram identificar duas ondas se propagando.

A partir da observação anterior também pode-se conceituar que a luz é uma onda transversal (direção de propagação perpendicular à de oscilação).

À medida que as lâmpadas eram ligadas, elas perceberam a emissão da luz a aluna A comentou; *"assim dá para perceber que a luz vai para todas as direções"*, já a aluna B relatou: *"eu aprendi que a luz se propaga em todas as*

direções, que era uma onda, agora consegui entender melhor o que isso significa”.

Figura 28: Aluna A reconhecendo a maquete do Recurso IV



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 29: Aluna B reconhecendo a maquete do Recurso IV



Fonte: Imagem próprio autor

Recurso V: Uso do arduino para o ensino do Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia

Esse recurso está como indicação opcional para o professor utilizar em sala de aula pois trata de um conteúdo avançado, mas foi testado com as alunas sem fazer abordagem matemática, para verificar sua eficácia.

Quanto aos recursos, este foi o que mais chamou atenção das alunas, talvez pelo fato de que a intensidade sonora alterava à medida que a fonte de luz era aproximada ou afastada do sensor de luminosidade.

Para os professores que trabalham a Física Moderna e abordam o conteúdo de densidade de fluxo de energia, esse experimento é bem útil e significativo, para qualquer aluno, seja cego ou não, pois com ele é possível fazer a relação perfeita energia transportada por uma onda, e que esta intensidade é inversamente proporcional ao raio elevado ao quadrado.

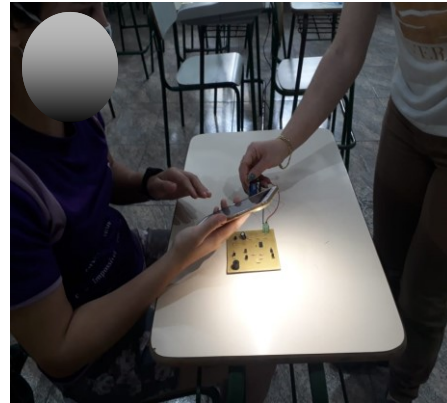
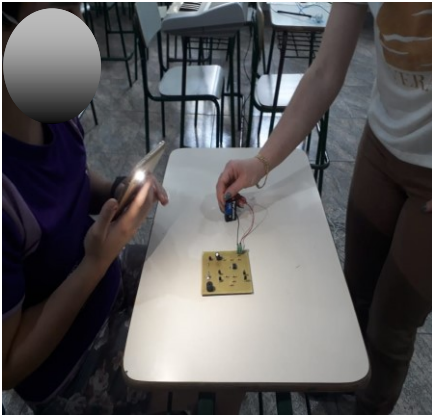
Para as alunas cegas foram apresentadas esferas de diferentes raios (esferas de isopor), utilizadas concomitantemente ao dispositivo, para demonstrar a questão da tridimensionalidade da onda. Na medida que o dispositivo foi utilizado, fui apresentando as esferas de diferentes tamanhos explicando que à medida que a área da esfera está aumentando, a intensidade diminui com o raio ao quadrado.

Essa relação foi feita utilizando o exemplo da nossa principal fonte de Luz e calor, o Sol, no intuito de que compreendessem que quanto mais próximos da fonte maior será a energia recebida, ou seja, como os corpos na Terra estão a uma distância de $1,5 \cdot 10^{11}$ m do Sol, a energia sentida é bem menor.

Ambas as alunas demonstraram ter entendido esse conceito. A aluna A relacionou isso com a sensação de calor em determinados horários do dia. A aluna B, com as esferas de isopor fez a interpretação de que se estivéssemos na terra, considerando um raio referente a menor esfera, de distância em relação ao sol, morreríamos queimados.

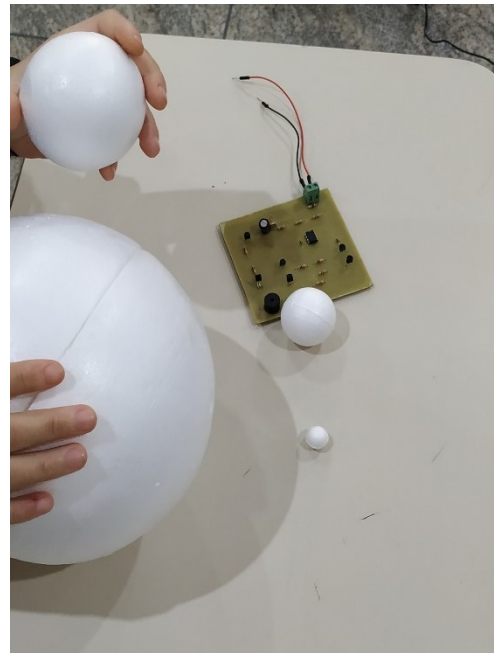
Mesmo que a expressão matemática não foi utilizada coma as alunas cegas, foi possível compreender a questão da densidade de fluxo de energia relacionada com a distância em relação a fonte.

Figura 30 - Aluna A afastando e aproximando a fonte de luz do sensor de luminosidade



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 31 - Aluna B fazendo uso do dispositivo e analisando as esferas de diferente raios



Fonte: Imagem próprio autor

Ambas as alunas avaliaram positivamente este recurso, consideraram útil para a compreensão deste fenômeno físico.

Recurso VI: Fenômeno de Interferência: Recurso Tátil - Visual para compreender o experimento de Thomas Young

Antes de mostrar o recurso, fiz uma breve explicação do experimento Thomas Young, embasada na leitura do texto do capítulo 4 desta dissertação, na sequência o recurso foi colocado a frente de cada aluna para reconhecimento,

com o objetivo de que compreendessem a natureza ondulatória da luz – a partir da interpretação de fenômenos ondulatórios como a Interferência. Dando ênfase a explicação qualitativa.

As alunas tatearam o objeto e foram identificando a frente de onda, passando por um único orifício que emitia ondas semicirculares, depois atravessando uma segunda barreira com dois outros orifícios que emitiam, cada um, novas ondas sendo difratadas e sofrendo interferência. Perceberam também o anteparo onde os máximos e mínimos eram produzidos.

A aluna A relacionou os máximos e mínimos com faixas na vertical e aluna B falou que parecia código de barras.

Na descrição, as alunas usaram as palavras furinhos para orifício e a aluna B comentou “*que interessante as ondas que saem de cada furinho se cruzam no caminho e continuam sendo emitidas*”; “*Onde elas se encontram a barra é elevada e nos outros pontos é rebaixada*”.

Figura 32 - Aluna A e aluna B tateando o recurso VI – Fenômeno de Interferência



Fonte: Imagem próprio autor

Na tentativa de tornar o experimento de baixo custo, o mesmo foi também desenvolvido com papelão e barbante, porém as alunas tiveram um pouco mais de dificuldade na interpretação da imagem.

Figura 33 - Aluna B interpretando o recurso VI feito com barbante.



Fonte: Elaborada pela autora(2020)

Encerrada a testagem dos recursos com as alunas cegas, a aluna A se colocou a disposição de responder o pós teste com as perguntas do pré teste e me enviar por e-mail, para poder fazer análise dos conteúdos apreendidos. Segue as perguntas e respostas recebidas desta aluna, que respondeu o questionário utilizando o bloco de notas do computador adaptado com o programa DOSVOX.

Figura 34 - Perguntas e Respostas Aluna A: Questionário Pós Teste

QUESTIONÁRIO PÓS TESTE

Aluna Sabrina - Quarto ano do Curso Técnico de Nível Médio de Formação Docente - 14 de setembro de 2020

1- O que é uma onda? Você pode responder citando exemplos.

Uma onda é algo que varia, exemplo numa música tem ondas, que vão de um lado para o outro.

2- Tente explicar como uma onda se propaga, ou seja, como ela chega de um ponto a outro?

As ondas sonoras se propagam em um meio material -- sólido, líquido ou gasoso. Esse meio pode ser unidimensional, como uma corda esticada; bidimensional, como a membrana de um tambor; ou tridimensional como a atmosfera.

3- O que é a luz para você?

Luz é algo que a gente sente através do calor do sol por exemplo.

4- Assinale a alternativa que apresenta as componentes de uma onda:

- a) velocidade, aceleração, força e movimento
 - b) comprimento, frequência, período e energia
 - c) amplitude, período, frequência e velocidade
 - d) força, energia, elasticidade e velocidade
- "c"

5- Onda transporta: () matéria (x) energia

6- Quanto a natureza das ondas, elas são classificadas em ondas mecânicas, eletromagnéticas e ondas de matéria. Sobre essa classificação, é possível afirmar:

a- Ondas mecânicas, eletromagnéticas e de matéria não apresentam diferenças significativas quanto a sua propagação em diferentes meios.

b- Ondas mecânicas transportam matéria e ondas eletromagnéticas transportam energia.

c- As ondas mecânicas se propagam apenas em meios materiais e as ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagar.

d- Todas as ondas, independente de sua classificação, se propagam com a mesma velocidade da luz no vácuo que é de aproximadamente 300.000.000 m/s.

"c"

7- Nas alternativas abaixo, assinale a opção que melhor define o conceito de natureza da luz:

a- Luz pode ser onda e partícula pois todos os fenômenos luminosos são explicados por ambas as teorias.

b- Luz é uma onda eletromagnética que se propaga, no vácuo, com velocidade de aproximadamente 300.000.000 m/s.

c- Fenômenos ondulatórios como difração e interferência da Luz também são explicados pela teoria corpuscular, admitindo assim que a luz é uma partícula.

d- Considerando os conceitos estudados na óptica geométrica não é possível admitir que luz seja uma onda eletromagnética.

"b"

8- Tente imaginar como ocorre a comunicação via telefone com fio (fixo) e via smartphone. De acordo com seus conhecimentos, assinale a alternativa que melhor explique sobre o princípio de funcionamento destes aparelhos de telecomunicação:

a- Todos os tipos de telefone, sejam eles fixos ou móveis, com fio ou sem fio, funcionam com o mesmo princípio de transmissão via ondas de rádio que são ondas mecânicas.

b- O telefone com fio usa ondas mecânicas para funcionar enquanto outros meios de comunicação, como o rádio, a TV ou celular, usam as ondas de natureza eletromagnética, pois sofrem menos atenuação.

c- O telefone fixo sem fio e o celular tem o mesmo princípio de funcionamento que é através da transmissão via ondas mecânicas enquanto os fixos com fio a transmissão se dá por ondas eletromagnéticas.

d- Todos funcionam através de pulsos elétricos que são transmitidos através de fios visíveis ou por ondas de rádio, tv ou raios infravermelhos.

"d"

9- A luz do sol pode ser percebida ou sentida através de diferentes sentidos. Explique como você sente a luz do sol, como ela chega até nós? Percebe diferença na sua intensidade de acordo com o horário do dia ou o local que você está?

Eu percebo que durante a manhã, a luz do sol é mais forte, e quando vai findando o dia, ela vai diminuindo sua intensidade, acredito que está relacionado com o conceito de fluxo de energia que a professora explicou, pois a distância do sol até a terra vai mudando no decorrer do dia e intensidade luminosa é inversamente proporcional a essa distância ao quadrado.

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

O quadro comparativo das respostas do pré teste com o pós teste da aluna A está descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Quadro síntese comparativo das respostas ao pré teste e pós teste da aluna A

Pergunta	Resposta da aluna A pré teste	Resposta da aluna A pós teste
O que é uma onda?	Não respondeu	Uma onda é algo que varia, exemplo, numa música tem ondas, que vão de um lado para outro.
Como uma onda se propaga?	Não respondeu	Ondas sonoras e propagam em um meio material – sólido, líquido, gasoso. Esse meio pode ser unidimensional, bidimensional e tridimensional.
O que é luz para você?	Não respondeu	Luz é algo que a gente sente através do calor do sol, por exemplo.
Componentes da onda	Velocidade, aceleração, força e movimento	Amplitude, período, frequência e velocidade
Onda transporta:	Energia	Energia
Sobre natureza e classificação das ondas	Todas as ondas, indiferente de sua classificação, se propagam com a mesma velocidade da luz no vácuo que é de aproximadamente 300.000.000 m/s.	As ondas mecânicas se propagam apenas em meios materiais e as ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagar.
Quanto ao conceito de natureza da luz:	Luz pode ser onda e partícula pois todos os fenômenos luminosos são explicados por ambas as teorias.	Luz é uma onda eletromagnética que se propaga, no vácuo, com velocidade de aproximadamente 300.000.000 m/s.
Sobre os aparelhos de telefone com fio e smartphone	O telefone com fio usa ondas mecânicas para funcionar enquanto outros meios de comunicação, como o rádio, a TV ou celular, usam as ondas de natureza eletromagnética, pois sofrem menos atenuação.	Todos funcionam através de pulsos elétricos que são transmitidos através de fios visíveis ou por ondas de rádio, tv ou raios infravermelhos.
Como você sente a luz do sol	Através da pele, quando saio para fora de casa consigo perceber a diferença de intensidade, de manhã e início da tarde mais forte e final de tarde mais fraco. Sinto na pele	Durante a manhã a luz do sol é mais forte quando vai findando o dia, ela vai diminuindo sua intensidade. Acredito que está relacionado como o conceito de fluxo de energia que a professora explicou, pois a distância do sol até a terra

		vai mudando no decorrer do dia e a intensidade luminosa é inversamente proporcional a essa distância ao quadrado.
--	--	---

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

O quadro comparativo das respostas do pré teste com o pós teste da aluna B está descrito no Quadro 2.

Quadro 2 - Quadro síntese das respostas ao pré teste da aluna B

Pergunta	Resposta da aluna B pré teste	Aluna B não respondeu pós teste.
O que é uma onda?	Forma de transformação de energia (sonoras, raio , ondas marítimas)	
Como uma onda se propaga?	Se propagam em uma, duas ou três direções	
O que é luz para você?	É uma forma de radiação eletromagnética, onda percebida pelo olho humano	
Componentes da onda	Amplitude, período, frequência e velocidade	
Onda transporta:	Energia	
Sobre natureza e classificação das ondas	As ondas mecânicas se propagam apenas em meios materiais e as ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagar.	
Quanto ao conceito de natureza da luz:	Luz é uma onda eletromagnética que se propaga, no vácuo, com velocidade de aproximadamente 300.000.000 m/s.	
Sobre os aparelhos de telefone com fio e smartphone	Todos os tipos de telefone, sejam eles fixos ou móveis, com fio ou sem fio, funcionam com o mesmo princípio de transmissão via ondas de rádio que são ondas mecânicas.	
Como você sente a luz do sol	Sol chega por ondas que são percebidas alterações em alguns horários do dia que são mais intensos ou menos.	

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Analisando as respostas foi possível verificar que as atividades realizadas contribuíram para a aprendizagem dos conceitos relacionados aos recursos didáticos utilizados no momento presencial com a aluna A. Já a aluna B não respondeu o pós teste, pois ela mesma considerou que a parte conceitual já estava assimilada e que os experimentos foram fundamentais para comprová-los e também para dar significado aos conteúdos que havia aprendido no ensino médio.

Para ambas as alunas foi enviado um questionário de opinião sobre os recursos utilizados e a aprendizagem dos conceitos, as respostas foram devolvidas por e-mail pela aluna A e por mensagem de áudio pela aluna B, as mesmas podem ser analisadas abaixo.

1. Como você avalia sua aprendizagem dos fenômenos Físicos da ondulatória e sobre a luz, antes e depois das atividades realizadas?

Aluna A: “ Então eu achei muito legal, só acho que não fui muito bem nas questões do pré teste, mas no pós acho que fui melhor. Foi importante porque alxilhou na compreensão”

Aluna B: “ Meu aprendizado foi melhor depois de ter utilizado os materiais que você utilizou, antes eu entendia, sabia do conceito, mas algumas coisas por serem vivaz acabaram ficando difíceis de imaginar e com esses materiais utilizados a compreensão ficou bem mais tranquila”

2. Quando você estudou física, teve acesso a recursos experimentais que facilitavam a compreensão dos conceitos físicos abordados? Se sim, com qual frequência?

Aluna A: “Não tive acesso há nenhum recurso experimental, por sinal a professora não sabia o que fazer, então era mais teoria”

Aluna B: “No ensino Médio, relacionado a outros conteúdos algumas vezes tinha algo experimental, mas relacionado a ondulatória em si não teve”

3. Você considera que as atividades experimentais realizadas, ou seja, os recursos didáticos demonstrados facilitaram a compreensão e aprendizagem dos conteúdos? Justifique.

Aluna A: “Sim considero, porque a pessoa vai ter uma compreensão melhor, da luz, das ondas do mar, e entre outros.”

Aluna B: “Considero sim que foi bem útil que vai ajudar muito as pessoas que possuem alguma deficiência ou não, por que acredito que através destes recursos que foram utilizados fica mais fácil a compreensão até por parte de quem enxerga”.

4. Qual das atividades realizadas você mais gostou? E a que menos gostou? Por que?

Aluna A: “Eu gostei da atividade do sensor de luz, muito interessante quando aproximava o celular com luz, dava um som muito intenso, que ia diminuindo se afastava, deu pra entender bem a questão da intensidade de luz. Não teve o que não gostei.”

Aluna B: “Até é um pouco difícil de responder mas acho que a melhor foi a última que você demonstrou, porque acho que ela ficou bem o conceito visual e a que menos, foi a menor que você adaptou, que é o mesmo do primeiro, mas feito em tamanho menor, somente com barbante fica um pouco mais difícil de compreender. ”

5. Você considera que foi possível compreender o conteúdo teórico e relacionar o mesmo a situações práticas do cotidiano? Exemplifique.

Aluna A: “Sim foi possível sim compreender. Consegui fazer relação principalmente com o som pra entender que a luz também é uma onda, o som parece que eu sinto uma vibração passando por mim, aí comparei com intensidade das ondas que vem do sol que é luz.”

Aluna B: “Sim acho que foi possível relacionar com o cotidiano principalmente a questão do som e a questão das ondas”

6. Faça uma avaliação geral apresentando os pontos positivos e negativos das atividades realizadas

Aluna A: " Na verdade só tem pontos positivos, porque é uma maneira de ajudar outros professores no futuro quando tiverem um aluno sego dentro da sala de aula"

Aluna B: " Eu acho que todas as atividades foram bem criativas e intuitivas, que isso traz o interesse de todos os alunos tanto os que enxergam quanto os que não enxergam, e isso torna mais fácil de compreender os conteúdos por parte de todos. E os materiais utilizados foram de boa qualidade. Ponto negativo eu não tenho o que falar muito não, é só tomar um pouquinho de cuidado às vezes, por exemplo quando for reduzir o tamanho de uma figura, por exemplo igual você me mostrou, por que isso é uma coisa que varia muito de cego pra cego, mas é por exemplo se, conforme for reduzindo mais, aí dá mais dificuldade para a pessoa entender o desenho, por exemplo um desenho com bastante detalhe isso acaba complicando. Por exemplo aquele que ficou de forma reduzida, com calma eu iria entender de boa, mas por exemplo se colocasse na minha frente eu não sei entenderia na primeira vez. Estou me referindo ao desenho reduzido que você mostrou, o último, acho que é isso. "

7. Enquanto aluno cego, deixe sua sugestão sobre o que poderia ser feito para melhorar os experimentos, ou seja, se teve alguma dificuldade de entendimento de algum deles, (escrita em braile, a textura, alto e baixo relevo, tamanho, som, vibração).

Aluna A: "Na verdade não tive nem uma dificuldade de nada, para mim ficaram ecelentes, os esperimentos."

Aluna B: " Como sugestão em relação aquele que você mostrou, o aplicativo para sentir a vibração na mão, pra mim ele foi bom, mas é um pouco arriscado para apresentar para algum outro deficiente visual, porque por exemplo, uns tem mais sensibilidade outros menos, talvez alguns possam não perceber muito a vibração do celular já que isso varia muito de cada um, uns tem a percepção melhor das coisas, outros não, e vai ao encontro bem ao que falei no áudio acima com relação a reduzir figuras. Até certo ponto dá, mas depois para alguns já ficaria mais difícil de compreender um desenho, a quantidade correta que pode reduzir já não posso te dizer, por que varia de cada um por exemplo, aquele primeiro que você mostrou da onda, daquele jeito que tava lá tava tranquilo, aqueles menores também eu entendi de boa, mas é um negócio que varia muito."

8. Enquanto aluno cego como você avalia a inclusão educacional, as escolas e professores tem recursos pedagógicos para trabalhar com essa necessidade? Os professores se empenham com o aprendizado de vocês?

Aluna A: “No meu caso, eu tive uma professora que não era muito inclusiva, ou seja, ela me deixava bastante de lado, derrepente por não saber como lidar com a situação, mas como citei anteriormente, era mais teoria.”

Aluna B: “ Eu acho que ainda falta muito material pedagógico para ocorrer a verdadeira inclusão da pessoa cega, por que só tem a inclusão se o professor se empenha e faz acontecer com relação a experimentos, porque normalmente eles não são adaptados e tem coisas que não dá para tocar também e tem professor que focam, que se preocupam em ensinar, em incluir, como também tem aqueles que não se importam. ”

9. Faça considerações que julgar necessário.

Aluna A: não respondeu

Aluna B: “Na última, acho que não tenho considerações a fazer, acho que já fiz nas anteriores. ”

Percebe-se nas respostas do questionário de opinião, que a aluna B traz mais argumentos nas suas respostas, enquanto a aluna A é bem sucinta e não apresenta muitas justificativas. Como a aluna B citou, depende de cego para cego, e isso não é diferente para pessoas que não são cegas, percebemos no cotidiano de sala de aula, a mesma situação com diferentes alunos.

Quanto a utilização destes recursos para as aulas de Física, ficou evidente, através do questionário de opinião e também pelas respostas obtidas no pré e pós teste, que eles contribuíram sim para o aprendizado de alunos cegos e mais, contribuíram para dar significado aos conceitos abordados nas aulas de Física, e como a aluna B relatou, esses recursos não são para uso exclusivo de alunos cegos, mas que eles contribuem para a compreensão dos conteúdos até por parte de quem enxerga.

Deste modo, é possível afirmar que, com a utilização destes recursos multissensoriais, é possível desenvolver nos alunos a aprendizagem significativa, haja visto que eles não ficam apenas nos conceitos mas conseguem fazer relações que contribuem para o processo de aprendizagem, e que a presença do professor, ou de um colega na orientação das atividades é fundamental para esse processo, pois segundo Vygotsky (1984), o homem é um ser social e aprende a partir das relações e experiências compartilhadas, ou seja,

através da interação com outras pessoas e com os objetos do mundo, ocorre a aprendizagem.

Assim é possível justificar o uso das teorias de aprendizagem de significativa de Ausubel e o Interacionismo de Vygotsky aliados à didática multissensorial no processo de ensino da luz como onda eletromagnética para alunos cegos ou não. Pois a visão é uma importante função para o ser humano, mas sua ausência ou sua deficiência não impede a aprendizagem do aluno se este estiver inserido num ambiente que promova a interação social e a participação de todos os alunos através do desenvolvimento consciente de ações planejadas que busquem desenvolver o aprendizado através de todos os sentidos e não somente através da visão (Laplane e Batista, 2008)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste estudo veio fortalecer uma das ideias iniciais apresentadas na introdução do texto, que trata da necessidade de desenvolver estudos e materiais para o ensino de Física que possam oportunizar a inclusão educacional e, neste caso em específico, um ensino de Física voltado a inclusão de alunos deficientes visuais.

No Brasil existem as leis que garantem a inclusão de alunos deficientes na escola pública regular, mas elas por si só, não garantem a qualidade no ensino e sequer garantem que a aprendizagem, por parte dos alunos, realmente aconteça. Isso por que, muitos estudos e trabalhos ainda precisam ser desenvolvidos para garantir, primeiramente, a formação do professor, que não dá conta de trabalhar com as deficiências que os alunos venham a apresentar em sala de aula.

Neste caso em específico, trataremos da formação deficitária do professor em trabalhar com alunos deficientes visuais. É urgente que mais estudos, assim como planos de governos, sejam desenvolvidos para dar conta desta formação, que não pode ser uma formação teórica simplesmente, pois o aluno cego tem todos os outros sentidos que podem ser aguçados e trabalhados para que a aprendizagem aconteça. E quando o assunto é aprendizagem destes alunos,

deve-se levar em consideração que cada ser apresenta suas especificidades e, por conseguinte aprende de formas diferentes, daí a necessidade de que, além da formação haja material adaptado para trabalhar com esses alunos.

Este material não pode ser pensado exclusivamente para o aluno deficiente visual, mas sim um material que possa ser utilizado por todos, ou seja, não podemos pensar em desenvolver material para o aluno cego, por exemplo, mas um material que possa ser adaptado e utilizado por todos, senão o trabalho de inclusão vira um fardo para o professor. Daí a importância de trabalhar com a Didática Multissensorial cuja teoria defende a questão de que o ser humano pode aprender por diferentes sentidos: visão, audição, tato, olfato.

Ficou evidente na aplicação dos recursos propostos, que alunos deficientes visuais devem fazer parte deste processo de formação e, principalmente, do processo de elaboração de materiais para o ensino de diferentes conteúdos da disciplina de Física. Somente o aluno deficiente visual é capaz de afirmar se o material pode ser interpretado por ele ou não, se o material contribui ou não para a compreensão do fenômeno físico pretendido. Caso o material produzido não seja testado por alunos deficientes visuais, corre-se o risco de não terem utilidade prática para o processo de ensino e aprendizagem.

Importante salientar que, ações didáticas como as propostas no texto de apoio ao professor, refletem uma aprendizagem significativa, permitindo a todo e qualquer aprendiz fazer uso dos mais diversos sentidos, e ainda utilizando da intervenção pedagógica do professor e dos colegas, com diferentes contextos e representações (jogos, sons, atividades em grupos, palavras...). Ou seja, a Aprendizagem Significativa de Ausubel e o Interacionismo de Vygotski, aliados à Didática Multissensorial podem dar conta de garantir o processo de aprendizagem dos alunos deficientes visuais inclusos numa sala de aula de ensino regular. Cabe oferecer aos educandos cegos as mesmas oportunidades e exigências que são proporcionadas ou feitas aos demais alunos.

Como sugestão para pesquisas futuras indicamos a aplicação da Proposta Didático Pedagógica em uma sala de aula regular onde haja aluno deficiente visual incluso, com o objetivo de identificar como se dá a interação destes com os videntes e como os recursos são avaliados quando utilizados em

grupos, sendo o colega vidente o orientador da atividade para o aluno cego ou baixa visão.

Quanto aos recursos sugeridos na Proposta Didático Pedagógica, é importante salientar que os mesmos não necessitam serem aplicados na sua totalidade ou fazendo uso de todos os recursos. O professor pode fazer recorte e utilizar cada um deles de forma independente, inclusive para o ensino de outros conteúdos da Física, como ondulatória, por exemplo. Para aqueles professores que querem dar um passo a mais, existe a possibilidade de levar para a sala de aula uma introdução à Física Moderna através de um recurso de arduino (tátil, visual, auditivo) para que os alunos compreendam qualitativamente o conteúdo Vetor de Poynting (Vetor que representa o transporte de energia da onda eletromagnética) – densidade de fluxo de energia.

Estes recursos didáticos foram pensados e desenvolvidos com o objetivo de propor atividades que possibilitem ao aluno deficiente visual total ou parcial, assim como ao aluno vidente, compreender que a luz é uma onda eletromagnética, através da utilização de representações táteis – visuais - auditivas para que compreendam as propriedades das ondas e, aliando os recursos à tecnologia possibilitar a compreensão da natureza ondulatória da luz através da relação entre frequência do som e frequência da cores da luz.

Neste contexto, busca-se possibilitar que os recursos didáticos apresentados, possam ser construídos e replicados sem a necessidade de conhecimentos avançados, auxiliando o docente no ensino do conteúdo pretendido, à medida que também contribuem para a concretização de uma aprendizagem significativa.

Quanto a estes recursos didáticos, os mesmos foram aplicados a duas alunas cegas de diferentes escolas públicas de um município da região sudoeste do estado do Paraná, estas alunas, portanto fizeram a testagem de cada um deles, associados a uma explanação teórica dos conteúdos físicos envolvidos em cada um dos recursos. De acordo com a leitura dos questionários de opinião respondidos por ambas as alunas verificamos que os recursos são viáveis de serem utilizados para o ensino de Física para alunos deficientes visuais. As alunas avaliaram de forma positiva cada um dos recursos que podem ser interpretados fazendo uso não somente da visão, para alunos videntes, mas do tato e audição para alunos deficientes visuais.

Estes recursos, portanto, contribuem para a aprendizagem significativa dos conceitos físicos envolvidos, à medida que o aluno também consegue perceber e interpretar, através do uso de diferentes instrumentos, os Fenômenos do Universo. Desta forma o processo de ensino e aprendizagem de Física pode contribuir de maneira efetiva para o processo de inclusão de alunos deficientes visuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. 1.^a edição. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros curriculares nacionais (Ensino Médio)**. 2000. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>> Acesso em

BRASIL. INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas em Educacionais Anísio Teixeira. **Censo da Educação Básica 2018 : Resumo Técnico**. Brasília, DF: INEP, 2019. Disponível em http://portal.inep.gov.br/informacao-da-publicacao/-/asset_publisher/6JYIsGMAMkW1/document/id/6386080. Acesso em 20 de julho de 2019.

BRASIL. Lei 13.005, de 25 de junho de 2014. **Aprova o Plano Nacional de Educação – PNE e dá outras providências**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L13005.htm. Acesso em: 25 de julho de 2019)

CAMARGO, E. P. **Saberes Docentes Mobilizados Nos Contextos Da Formação Em Licenciatura Em Física E Dos Estudantes Com E Sem Deficiência VISUAL**. Tese (Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP). 2015

CAMARGO, E. P. Inclusão e Necessidade Educacional Especial. Compreendendo Identidade e Diferença. In: CAMARGO, Eder P. de. (Org.). **Inclusão e necessidade especial: compreendendo identidade e diferença**

por meio de física e da deficiência visual. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

COSTA, D. A. F. **Superando limites: a contribuição de Vygotsky para a educação especial.** Rev. psicopedag., São Paulo, v. 23, n. 72, p. 232-240, 2006. Disponível em <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862006000300007&lng=pt&nrm=iso> Acesso em 15 de setembro de 2018

GOMES, H. J. P. OLIVEIRA, O. B. **Obstáculos epistemológicos no ensino de ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo.** Ciências & Cognição 2007; Vol 12: 96-109. Disponível em <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2010/Ciencias/Artigos/26atomo.pdf> Acesso em 24 de outubro de 2019

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física.** 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4; p. 82

HELWITT, P. G. **Física conceitual** (recurso eletrônico) / Paul G. Hewitt ; tradução: Trieste Freire Ricci ; revisão técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2015. p. 363

KAWAMURA, M. R. D.; HOSOUME, Y. **A Contribuição da Física Para Um novo Ensino Médio.** *Física na Escola*, v. 4, n. 2, 2003. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol4/Num2/v4n2a09.pdf>> Acesso em 02/02/2020

LAPLANE, A. L. F. DE; BATISTA, C. G. **Ver, Não Ver E Aprender: A Participação De Crianças Com Baixa Visão E Cegueira Na Escola.** Cad. Cedes, Campinas, vol. 28, n. 75, p. 209-227, maio/ago. 2008 Disponível em <http://www.cedes.unicamp.br> Acesso em 01 de junho de 2020

LA TAILLE, Y. de ; OLIVEIRA, M. K. de; DANTAS, H. **Piaget, Vigotski, Wallon: Teorias psicogenéticas em discussão.** São Paulo: Summus Editorial, 2019

LA TAILLE, Y. de ; OLIVEIRA, M. K. de; DANTAS, H. **Piaget, Vigotski, Wallon: Teorias psicogenéticas em discussão**. São Paulo: Summus Editorial, 1992

MANTOAN, M.T.E. **O direito de ser, sendo diferente, na escola**. **Revista CEJ Conselho da Justiça Federal**/Centro de Estudos Judiciários da Justiça Federal. Ano VIII/Setembro de 2004, Brasília/DF

MARTINS, R. de A.; SILVA C. C. **As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica**. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo , v. 37, n. 4, p. 4202-1-4202-32, Dec. 2015 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172015000400202&lng=en&nrm=iso> Acesso em 10 de abril de 2019

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a Teoria e Textos Complementares**. 1ª Edição. São Paulo: Livraria da Física, 2011

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa, Organizadores Prévios, Mapas Conceituais, Diagramas e Unidades De Ensino Potencialmente Significativas**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2012

MOREIRA, M. A; MASSONI, N. T. **Interfaces Entre Teorias De Aprendizagem E Ensino De Ciências/Física**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. Disponível em <https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v26_n6.pdf> Acesso em 22 de setembro de 2018

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente (Meaningful learning: an underlying concept)**. *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review* – V1(3), pp. 25-46, 2011.

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: A teria da Aprendizagem Significativa**. 2ª Edição. Porto Alegre: UFRGS, 2016. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios6.pdf>> Acesso em 15 de setembro de 2018

MORTIMER, E. F. **Construtivismo, Mudança Conceitual E Ensino De Ciências: Para Onde Vamos?**. Revista Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), v 1, n 1, 1996. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/645>> Acesso em 22 de setembro de 2018

NUNSENZVEIG, H. M.. **Curso de Física Básica**, Volume 2 – Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. 4ª edição , São Paulo: Editora Blucher, 2010

NUNSENZVEIG, H. M.. **Curso de Física Básica**, Volume 3 – Eletromagnetismo. 1ª edição , São Paulo: Editora Blucher, 1997.

NUERNBERG, A.H. **Contribuições de Vigotski para a educação de pessoas com deficiência visual**. *Psicol. estud.*, Maringá , v. 13, n. 2, p. 307-316, June 2008 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-73722008000200013&lng=en&nrm=iso> Acesso em 03 de outubro de 2019

OLIVEIRA M. k. de . **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento: Um processo sócio-histórico**. 4ª Edição. São Paulo: Scipione, 2005

PARANÁ. Secretária de Estado da Educação do Paraná. **Diretrizes Curriculares da Educação Básica Física**, 2008

RONCA, A. C. C. **Teorias de ensino: a contribuição de David Ausubel**. Temas psicol., Ribeirão Preto , v. 2, n. 3, p. 91-95, dez. 1994 . Disponível em <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X1994000300009&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 20 out. 2020.

SOLER M.A. **Didáctica multisensorial de las ciencias: Un nuevo método para alumnos ciegos, deficientes visuales, y también sin problemas de visión**. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, 1999.

VIGOTSKI, L.S. . **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

APENDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

JAQUELINE ANDREIA TAFAREL

**LUZ ALÉM DA ESCURIDÃO - UMA PROPOSTA DE ENSINO DA NATUREZA
ONDULATÓRIA DA LUZ PARA ALUNOS CEGOS**

**MEDIANEIRA
2020**

LUZ ALÉM DA ESCURIDÃO - UMA PROPOSTA DE ENSINO DA NATUREZA
ONDULATÓRIA DA LUZ PARA ALUNOS CEGOS

Light beyond darkness - A proposal for teaching the wave nature of light to
visually impaired students

JAQUELINE ANDREIA TAFAREL

Produto Educacional, vinculado à
Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ensino de
Física da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná – Campus Medianeira no Curso
de Mestrado Nacional Profissional de
Ensino de Física (MNPEF), como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título
de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Professor Dr. Fabricio Tronco
Dalmolin
Coorientador: Professora Dra. Shiderlene
Vieira de Almeida

MEDIANEIRA
2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do
trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e
que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra
não são cobertos pela licença.

Lista de Figuras

Figura 1: Recurso 1	9
Figura 2: Um período Completo de Oscilação	10
Figura 3: Dois comprimentos e meio de Onda	10
Figura 4: Recurso III	11
Figura 5: Frequência das Notas Musicais em Relação a Frequência das ondas de luz e suas cores	12
Figura 6: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical SOL, com volumes diferentes, em 100% e 50%.	14
Figura 7: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical FA, com volumes diferentes, em 100% e 50%.	15
Figura 8 -Representação do Fenômeno de Interferência Ondulatória.....	18
Figura 9: Reglete e punção.....	20
Figura 10: Onda com marcações em Caneta.....	21
Figura 11: Onda com marcações em Caneta.....	21
Figura 12: Tela inicial do programa, onde foi digitado aquilo que precisa ser transcrito	22
Figura 13: Tela inicial do programa, onde foi digitado aquilo que precisa ser transcrito	22
Figura 14: FrequencyGenerator.....	23
Figura 15: Tipos de onda possíveis de serem reproduzidos no aplicativo.....	24
Figura 16: Piano Virtual	25
Figura 17: Braille Fácil - exemplo de transcrição	26
Figura 18: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética	29
Figura 19: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética	29
Figura 20: Uso do Arduíno para o ensino de Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia - Montagem.....	31
Figura 21 - Representação do Fenômeno de Interferência da Luz.....	32
Figura 22 - Representação de Interferência na Onda - Impressa.....	33
Figura 23 - Representação da Interferência na Onda em Barbante	33
Figura 24 - Experimento de Young	41
Figura 25 - Superposição de ondas – interferência construtiva e destrutiva.....	44

Sumário

Sumário	3
1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	4
2. PROPOSTA DIDÁTICO PEDAGÓGICA - TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR.....	6
3. DESCRIÇÃO DOS RECURSOS DIDÁTICOS	19
3.1. Recurso I: Quebra cabeça em alto relevo – discutindo as propriedades das ondas.....	19
3.2. Recurso II: Gerador de Frequência – discutindo a diferença entre onda mecânica e eletromagnética.....	23
3.3. Recurso III: Piano – relacionando sons e cores.....	24
3.4. Recurso IV: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética	26
3.5. Recurso V – OPCIONAL: Uso do Arduíno para o ensino de Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia	29
3.6. Recurso VI – Fenômeno de Interferência: Recurso Tátil - Visual para compreender o experimento de Thomas Young.....	32
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
5.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM ENSINO-APRENDIZAGEM.....	35
5.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM ENSINO-APRENDIZAGEM.....	37
APÊNDICE A: Texto: Luz – Onda Eletromagnética.....	38
APÊNDICE B: PRÉ TESTE E PÓS TESTE	45

1. APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Este produto educacional consiste na confecção e utilização de recursos didáticos para o ensino do conteúdo: Luz - onda eletromagnética, para alunos deficientes visuais parciais, totais ou videntes. A sugestão de utilização dos recursos desenvolvidos está apresentada no texto de apoio ao professor como Proposta didático pedagógica, que tem por objetivo garantir a inclusão de alunos deficientes visuais no processo de aprendizagem de Física.

Neste produto educacional propõe-se a construção de alguns experimentos, aqui denominados de recursos didáticos, são eles:

- Recurso I: Quebra cabeça em alto relevo – discutindo as propriedades das ondas.
- Recurso II: Gerador de Frequência – discutindo a diferença entre onda mecânica e eletromagnética.
- Recurso III: Piano – relacionando sons e cores.
- Recurso IV: Maquete da onda eletromagnética
- Recurso V: Uso do arduíno para o ensino do Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia.

Esta proposta, se trabalhada numa sequência de aulas, da forma como está aqui apresentada, está baseada na Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel, pois desde a primeira aula busca-se resgatar do aluno os conhecimentos prévios, através da aplicação do pré teste e com isso destacar os subsunçores necessários para dar continuidade ao processo de ensino, pois o conhecimento prévio serve de âncora, de levante, de pivô ou apoio para novos conhecimentos.

No decorrer das aulas, sob a mediação constante do professor o aluno vai estruturando seu conhecimento, através do uso dos diferentes recursos ofertados, e com o auxílio do Interacionismo de Vigotsky, pois muitas atividades são propostas em grupos, nas quais os alunos colaboram entre si na construção desse conhecimento.

Ou seja, o interacionismo de Vigotsky, vem, neste caso fortalecer a aprendizagem significativa, pois, de acordo com essa teoria, o indivíduo tem o conhecimento real e para chegar ao potencial, ele precisa interagir com outras pessoas.

Nesse sentido Vygotsky definiu a Zona de Desenvolvimento Proximal como sendo o espaço, a distância entre o desenvolvimento real e o potencial, o espaço onde as interações acontecem. “É o caminho que o indivíduo vai percorrer para desenvolver funções que estão em processo de amadurecimento e que se tornarão funções consolidadas, estabelecidas no seu nível de desenvolvimento real ” (Oliveira, 2005, p.60).

Desta forma os conhecimentos vão se consolidando e, quando o conhecimento potencial é alcançado, ele vira conhecimento real e novas interações vão acontecendo. “O aprendizado desperta processos de desenvolvimento que, aos poucos, vão tornar-se parte das funções psicológicas consolidadas do indivíduo ” (Oliveira, 2005, p.60). Ainda de acordo com Oliveira, a interferência constante de adultos e crianças mais experientes no nível de desenvolvimento proximal, movimentam os processos de desenvolvimento dos membros imaturos da cultura. Daí a importância das atividades em grupo nas aulas de Física, pois os colegas podem interferir no processo e contribuir para que o conhecimento seja consolidado pelos demais colegas. Da mesma forma quando alunos videntes são colocados junto a alunos com deficiência visual, podendo contribuir na descrição daquilo que estão visualizando ou sentindo, para auxiliar na construção do conhecimento de todos os alunos.

Uma sugestão para aplicação deste produto educacional está apresentada no capítulo 2; A indicação de como construir os recursos didáticos será detalhada no capítulo 3, bem como a lista de materiais. Na sequência, este material apresenta sugestões de leitura e outras sugestões para aplicação do produto, os roteiros das atividades e textos de apoio para o desenvolvimento de aulas.

2. PROPOSTA DIDÁTICO PEDAGÓGICA - TEXTO DE APOIO AO PROFESSOR

Neste capítulo será apresentada uma Proposta Didático Pedagógica, que servirá de suporte ao professor que opte em trabalhar com os recursos didáticos propostos no Produto Educacional.

Vale salientar que os recursos descritos podem ser utilizados para turmas com ou sem alunos deficientes visuais, pois é uma proposta que visa a inclusão de alunos cegos ou de baixa visão no processo de ensino de Física, mais especificamente voltado ao conteúdo Luz – onda eletromagnética.

Esta proposta, se trabalhada numa sequência de aulas, da forma como está aqui apresentada, está baseada na Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel, pois desde a primeira aula busca-se resgatar do aluno os conhecimentos prévios, através da aplicação do pré teste e com isso destacar os subsunçores necessários para dar continuidade ao processo de ensino, pois o conhecimento prévio serve de âncora, de levante, de pivô ou apoio para novos conhecimentos.

E, no decorrer das aulas, sob a mediação constante do professor o aluno vai estruturando seu conhecimento, através do uso dos diferentes recursos ofertados, e com o auxílio do Interacionismo de Vigotsky, pois muitas atividades são propostas em grupos, nas quais os alunos colaboram entre si na construção desse conhecimento.

Ou seja, o interacionismo de Vigotsky, vem, neste caso fortalecer a aprendizagem significativa, pois, de acordo com essa teoria, o indivíduo tem o conhecimento real e para chegar ao potencial, ele precisa interagir com outras pessoas.

Nesse sentido Vygotsky definiu a Zona de Desenvolvimento Proximal como sendo o espaço, a distância entre o desenvolvimento real e o potencial, o espaço onde as interações acontecem. “É o caminho que o indivíduo vai percorrer para desenvolver funções que estão em processo de amadurecimento

e que se tornarão funções consolidadas, estabelecidas no seu nível de desenvolvimento real ” (Oliveira, 2005, p.60).

Desta forma os conhecimentos vão se consolidando e, quando o conhecimento potencial é alcançado, ele vira conhecimento real e novas interações vão acontecendo. “O aprendizado desperta processos de desenvolvimento que, aos poucos, vão tornar-se parte das funções psicológicas consolidadas do indivíduo ” (Oliveira, 2005, p.60). Ainda de acordo com Oliveira, a interferência constante de adultos e crianças mais experientes no nível de desenvolvimento proximal, movimentam os processos de desenvolvimento dos membros imaturos da cultura. Daí a importância das atividades em grupo nas aulas de Física, pois os colegas podem interferir no processo e contribuir para que o conhecimento seja consolidado pelos demais colegas. Da mesma forma quando alunos videntes são colocados junto a alunos com deficiência visual, podendo contribuir na descrição daquilo que estão visualizando ou sentindo, para auxiliar na construção do conhecimento de todos os alunos.

Apresento na sequência, a Proposta Didático Pedagógica, embasada na Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e no Interacionismo de Vygotsky.

Aula 1: Levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre ondulatória e sobre luz.

Objetivo: Analisar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo da ondulatória em geral e sobre a luz em específico.

ATIVIDADE 1: Aplicação de um questionário com uso da ferramenta disponível no Google Drive (Formulários Google). O uso desta ferramenta também permite que o aluno deficiente visual faça uso quando tiver um computador adaptado, caso não tenha este computador, o questionário pode ser aplicado em folhas digitadas para os videntes e em Braille para os alunos cegos, e ampliada aos alunos de baixa visão. Outra possibilidade é aplicar o questionário via áudio.

Nesse primeiro instante, é muito importante verificar qual o conhecimento prévio dos estudantes cegos e videntes:

- sobre ondas e sobre luz;
- como percebem a diferença de sensação térmica entre estar num ambiente fechado (sem a luz do sol direta) e um ambiente aberto (exposto a luz solar);
- como entendem o funcionamento de um smartphone (por que às vezes o sinal é bom e às vezes ruim?);
- se percebem alguma relação entre ondas sonoras e luminosas e se estas apresentam diferença;
- se ondas transportam matéria ou energia;

Conceitos estes que serão explorados no decorrer das atividades. Para tanto, a aplicação de um questionário com questões dissertativas e alternativas contribui na identificação desses conhecimentos prévios. Uma possível sugestão de formato de questionário encontra-se no Apêndice C.

Este questionário servirá de parâmetro para avaliação final do conhecimento, ao término da aplicação desta sequência didática.

Aula 2 e 3: Discutindo as propriedades das ondas

Objetivo: Retomar conceitos de ondulatória e, através de diferentes sentidos reconhecer, identificar algumas propriedades das ondas e fazer relações entre elas para compreender também o conceito de velocidade de propagação de uma onda.

ATIVIDADE: CONHECENDO AS PROPRIEDADES DAS ONDAS

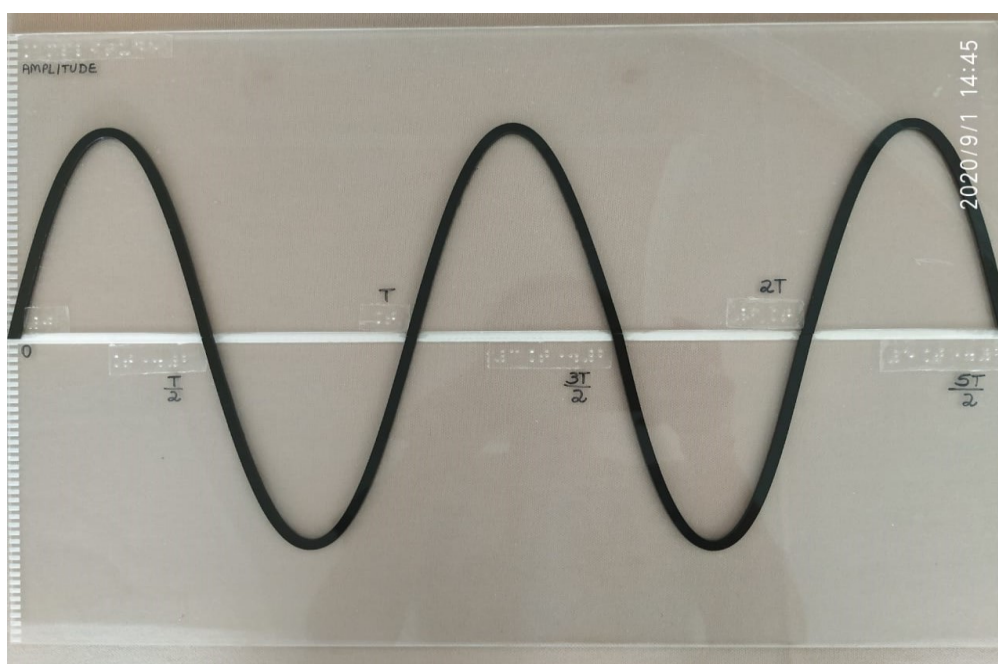
Nesta aula será feita a retomada das propriedades de uma onda (com uso de um recurso tátil –visual, explorar os conceitos de onda, permitindo a abordagem multissensorial de conceitos relacionados às ondas – crista, vale, amplitude, comprimento de onda, frequência e período).

Levar à sala de aula os textos digitados e transcritos em Braille, que sejam capazes de explicar todas as propriedades trabalhadas. (Somente se os alunos não possuem livros didáticos que deem conta deste conteúdo).

O texto sugerido encontra-se no link https://drive.google.com/file/d/1XvPdKgXYOvi617OIIoQJUDILmIiV_plv/view?usp=sharing e poderá ser disponibilizado ao aluno conforme conveniência. Ele traz os conceitos primordiais sobre ondas. O intuito desse texto é apresentar aos

alunos a teoria de ondas, para posterior relação com a imagem que poderá ser visualizada e/ou sentida através do tato, fazendo uso do aparato de acrílico (Ver figura do Recurso I) em alto relevo para que tanto alunos videntes, quanto alunos com deficiência visual total ou parcial, sejam capazes de compreender cada uma delas, vinculada aos seus conceitos teóricos e matemáticos, como por exemplo a apresentação da equação da velocidade de propagação das ondas, relacionando o comprimento de onda com período e frequência de oscilação.

Figura 35: Recurso 1



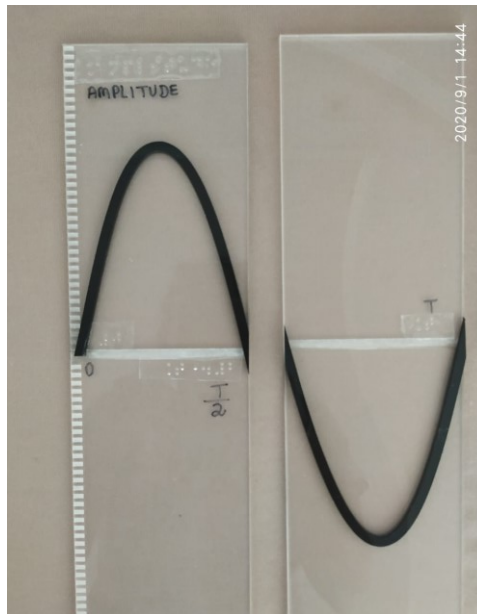
Fonte: Imagem próprio autor

Após a compreensão destes conceitos, reunir os alunos em duplas ou trios, para montarem o quebra-cabeça da onda (Recurso I), de acordo com o aparato já tateado e/ou visualizado pelos alunos, solicitando a eles que demonstrem com uso das peças, ondas que representem:

- um período completo de oscilação (Figura 36);
- um período e meio de oscilação;
- duas cristas e um vale;
- dois comprimentos e meio; (Figura 37)

Outras variações podem ser feitas.

Figura 36: Um período Completo de Oscilação



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 37: Dois comprimentos e meio de Onda



Fonte: Imagem próprio autor

ATIVIDADE DE PESQUISA:

Para dar início a próxima aula, solicitar que os alunos se dividam em grupos de três ou quatro pessoas para pesquisar e discutir sobre as diferentes frequências e comprimentos de ondas sonoras perceptíveis e não perceptíveis

pelo ouvido humano, assim como as diferentes frequências e comprimentos da luz, perceptíveis e não perceptíveis pelo olho humano.

AULA 4 e 5: Relacionando Sons e Cores

Objetivo: Relacionar diferentes frequências do som com frequências de luz, diferenciando as ondas mecânicas das eletromagnéticas para introduzir o conceito da natureza ondulatória da luz.

ATIVIDADE 1: Discussão da pesquisa sobre as frequências e comprimentos de onda do som e da luz, com o objetivo de levá-los a perceber as relações e diferenças entre estes dois tipos de onda.

ATIVIDADE 2: Uso do piano (Figura)

-Apresentar o texto que trata das relações entre as frequências das notas musicais e as cores da decomposição da luz branca, assim como das diferenças entre uma onda mecânica e eletromagnética (sugestão disponível no link <https://drive.google.com/drive/folders/1haGmq-rSqrqCbdBlorrHpX-7JnyMS6Ov?usp=sharing>).

-Solicitar aos alunos que façam uso do piano (Recurso III), e compreendam a relação entre a frequência das notas musicais com a respectiva frequência das cores da luz. (Figura 39)



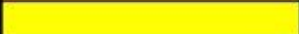



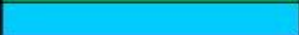





- Calcular o comprimento de onda dos diferentes espectros da decomposição da luz branca, utilizando a equação da velocidade.

Figura 38: Recurso III



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 39: Frequência das Notas Musicais em Relação a Frequência das ondas de luz e suas cores

Nota musical	Freq. Áudio (Hz)	Cores	Freq. Luz (Hz)
Fa #	370,0		$407 \cdot 10^{12}$
Sol	392,0		$431 \cdot 10^{12}$
Sol #	415,3		$457 \cdot 10^{12}$
La	444,0		$484 \cdot 10^{12}$
LA #	466,2		$513 \cdot 10^{12}$
Si	493,9		$543 \cdot 10^{12}$
Dó	523,3		$575 \cdot 10^{12}$
Dó#	554,4		$610 \cdot 10^{12}$
Ré	587,3		$646 \cdot 10^{12}$
Ré #	622,3		$684 \cdot 10^{12}$
Mi	659,3		$725 \cdot 10^{12}$
Fá	698,5		$768 \cdot 10^{12}$

Fonte: Imagem próprio autor

ATIVIDADE 3: Uso do aplicativo *Frequency Generator* (Recurso II)

O professor pode manter os grupos da pesquisa e solicitar antecipadamente que instalem o referido aplicativo em seus celulares.

O tutorial de instalação e uso do aplicativo encontra-se em um vídeo com áudio disponível no link <https://youtu.be/-arPm60fj-Y>, o que facilita a utilização do mesmo, por todos que necessitem ou não de alguém para auxiliar.

- Solicitar aos alunos que reproduzam no aplicativo algumas frequências, como por exemplo a menor e a maior frequência obtida pelas notas musicais, e respondam:

Qual a relação entre estas notas musicais e as cores da luz? (espera-se que o aluno seja capaz de identificar que a menor frequência do som equivale a menor frequência de luz, que é a cor vermelha, e que o maior comprimento de onda e a maior frequência de nota musical corresponde a luz violeta)

- Demonstrar, com uso de um aparato feito de papel cartão e barbante (alto relevo) a maior e menor frequência das notas musicais (essas imagens serão visualizadas no aplicativo – Recurso II) e solicitar aos alunos que imaginem essa onda com frequência na ordem de grandeza 10^{12} vezes maior, poderia ser percebida por nossos olhos? Porquê?

Solicitar aos alunos que façam diferentes observações: (A critério do professor, conforme o tempo disponível para o desenvolvimento da aula, porém, são atividades bem importantes e que necessitam de um tempo maior para o caso de alunos cegos – talvez uma aula a mais)

1-Manter o volume e alterar as frequências. Descrever o que foi observado;

- fazer um *print* de tela com duas frequências diferentes, para comparar as imagens.

2-Manter a frequência e alterar o volume. Descrever o que foi observado;

- fazer um *print* de tela com dois volumes diferentes, para comparar as imagens.

3-Manter o volume em 50% e alterar a frequência, lentamente e tentar perceber a partir de qual frequência e até qual frequência os integrantes identificam o som.

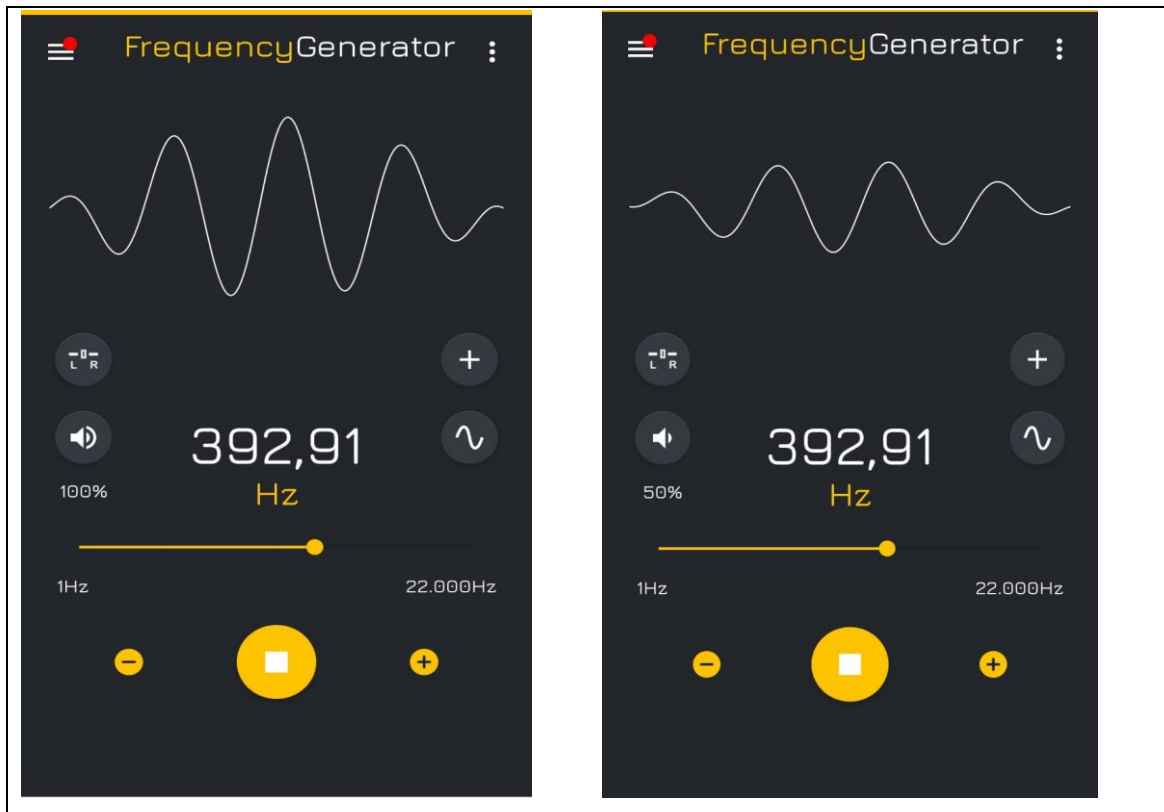
Todos têm a mesma percepção?

4-Manter o volume em 70% e colocar a mão na saída do som, alterando lentamente a frequência. Descreva o que é sentido através do tato, verificar se ocorre alguma sensação diferente de acordo com a alteração da frequência?

Essa vibração está relacionada a qual propriedade?

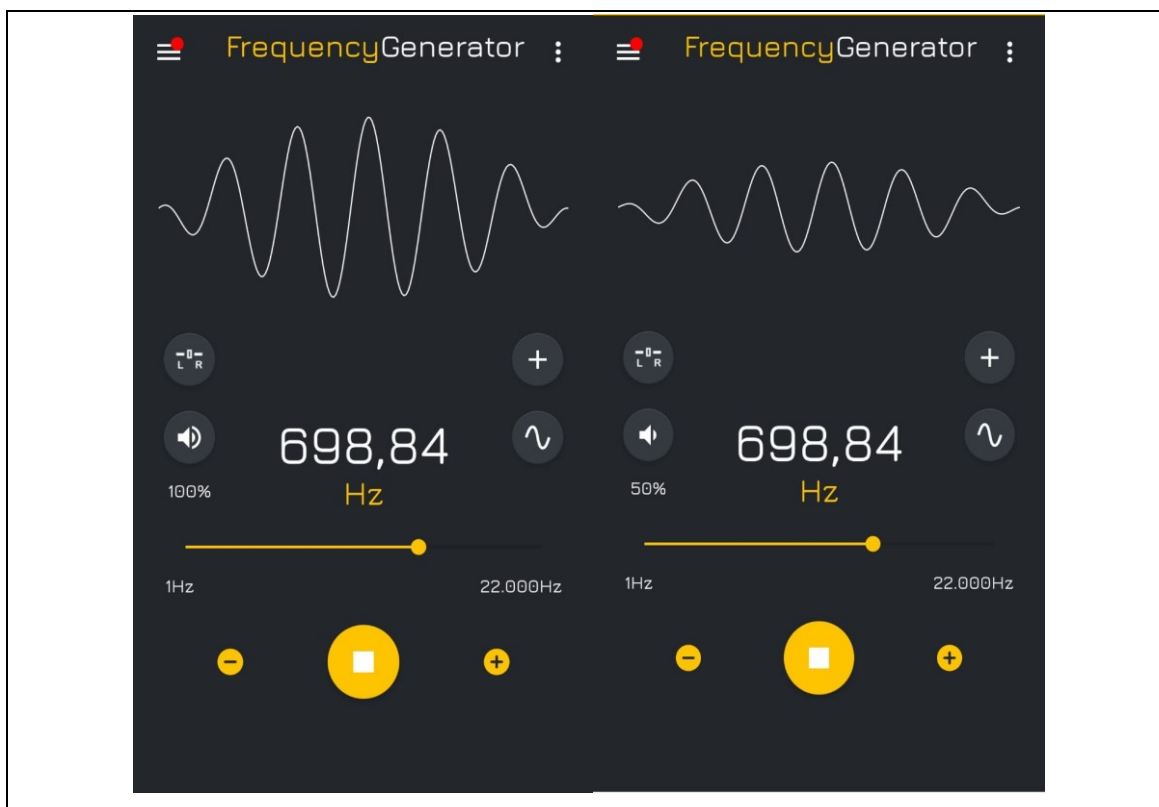
No caso de ter alunos cegos, as imagens printadas podem ser reproduzidas, pelos próprios colegas (alunos videntes) em um papel, utilizando a sobreposição com barbante, conforme figura abaixo, de modo que o aluno cego tenha a mesma percepção da imagem obtida, para identificação das propriedades das ondas.

Figura 40: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical SOL, com volumes diferentes, em 100% e 50%.



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 41: Print de tela do aplicativo, mostrando a frequência relacionada a nota musical FA, com volumes diferentes, em 100% e 50%.



Fonte: Imagem próprio autor

Aula 6 e 7: Compreendendo a luz

Objetivo: Compreender a natureza ondulatória da luz – direção e sentido de propagação dos vetores campo elétrico e magnético, assim como do vetor densidade de fluxo de energia conhecido como Vetor de Poynting, dando ênfase a explicação qualitativa, sem deixar de lado a noção quantitativa na análise dos resultados obtidos com uso dos recursos IV e V.

ATIVIDADE 1: Apresentação da maquete (Recurso IV – figura), a qual representa as propriedades geométricas de uma onda eletromagnética em um determinado instante.

- 4- Solicitar aos alunos que façam a observação tátil-visual para percepção do comprimento de onda e amplitude dos campos elétricos e magnéticos, assim como a observação de que estes campos se encontram em planos perpendiculares, ou seja, formando ângulo de 90° entre si.

- 5- A partir da observação anterior também pode-se conceituar que a luz é uma onda transversal (direção de propagação perpendicular à de oscilação).
- 6- Discussão do texto de apoio “Telefone”. Britannica Escola. Pode ser visualizado no link <https://drive.google.com/drive/folders/1haGmq-rSqrqCbdBlorrHpX-7JnyMS6Ov?usp=sharing> , e também encontra-se disponível em <<https://escola.britannica.com.br/artigo/telefone/482652>>

ATIVIDADE 2 – OPCIONAL: Utilização do Recurso V – Vetor de Poynting: compreendendo a onda eletromagnética como frente de onda esférica de uma fonte puntiforme

3- Aprofundar a discussão lançando alguns questionamentos:

- Como acontece a comunicação via telefone com fio? E via smartphone? Eles apresentam o mesmo princípio de funcionamento?

De acordo com as atividades e discussões anteriores, espera-se que os estudantes tenham a compreensão de que o telefone com fio usa ondas mecânicas para funcionar enquanto outros meios de comunicação, como o rádio, a TV ou celular, usam as ondas de natureza eletromagnéticas. Esperamos que os estudantes entendam que as ondas eletromagnéticas sofrem menos atenuação que ondas mecânicas e são largamente usadas na telecomunicação.

- Como cada um de vocês sente a luz do sol? Como ela chega até nós? A sensação de diferença de temperatura entre locais fechados (interior de uma casa) e locais abertos (exposição direta ao sol)?

- O que é uma onda? Como ela se propaga? Como vai de um ponto para outro?

Com estes questionamentos, espera-se que os alunos demonstrem que estas sensações não ocorrem via contato, e que ele não consegue explicar. Mas esta compreensão poderá ser obtida através da próxima atividade.

4- Utilizar o Recurso V (Opcional), para compreensão da densidade do fluxo de energia:

- Apresentar o dispositivo arduíno aos alunos e explicar seu funcionamento. Solicitar aos alunos que ativem o recurso “ok google ” em seus smartphones, solicitando ao mesmo que acenda a lanterna.

- Com a lanterna acesa o smartphone deve ser aproximado e afastado do arduíno que emitirá sons de diferentes intensidades conforme ocorre a alteração da intensidade da fonte luminosa, devido à distância.

Esta parte do experimento, levará os alunos a compreenderem a questão da energia transportada por uma onda, e que esta intensidade é inversamente proporcional ao raio elevado ao quadrado.

- Aos alunos cegos, e videntes também, podem ser apresentadas esferas de diferentes raios (podem ser esferas de isopor), utilizadas concomitantemente ao dispositivo, para demonstrar a questão da tridimensionalidade da onda: A área da esfera está aumentando, é porque a intensidade diminui com o raio ao quadrado.

- Fazer a relação com nossa principal fonte de Luz e calor, o Sol. Levá-los a compreenderem que quanto mais próximos da fonte maior será a energia recebida, ou seja, como os corpos na Terra estão a uma distância de $1,5 \cdot 10^{11}$ m do Sol, a energia sentida é bem menor.

- Apresentar a relação matemática da Intensidade luminosa: $I = P/4\pi r^2$, considerando a distância Terra-Sol e que a Potência irradiada do Sol é de aproximadamente $4 \cdot 10^{26}$ Watts, solicitar aos estudantes que calculem a Intensidade luminosa (energia radiante) percebida na Terra – ou somente demonstrar isso a eles, fazendo um comparativo com a energia muito próximo ao Sol. O estudante será capaz de entender que esta energia é muito menor aqui na Terra, ou seja, na ordem de grandeza de 10^3 W/m², enquanto muito próximo a fonte na ordem de grandeza de 10^{25} W/m².

Aula 8: Interferência – uma comprovação de que a luz é um fenômeno de natureza ondulatória.

Objetivo: Compreender a natureza ondulatória da luz – a partir da interpretação de fenômenos ondulatórios como a Interferência. Dando ênfase a explicação qualitativa, com utilização de um recurso tátil-visual.

ATIVIDADE 1: Leitura e discussão do texto que trata do experimento Thomas Young, o qual pode ser obtido no Apêndice A.

Apresentação do Recurso VI, que representa o fenômeno de interferência ondulatória, este recurso pode ser somente visualizado pelos alunos que enxergam e tateados, sob orientação do professor, pelos alunos cegos ou baixa visão.

Figura 42 -Representação do Fenômeno de Interferência Ondulatória



Fonte: Imagem próprio autor



Fonte: Imagem próprio autor

Aula 9: Avaliação

Aplicação de um pós teste, com o mesmo questionário utilizado no pré teste, com o objetivo de verificar o conhecimento construído pelos alunos após a realização das aulas sugeridas nesta proposta.

3. DESCRIÇÃO DOS RECURSOS DIDÁTICOS

3.1. Recurso I: Quebra cabeça em alto relevo – discutindo as propriedades das ondas.

A proposta inicial deste material é a construção do mesmo em material acrílico, tanto a base para demonstração quanto as peças separadas que compõem o quebra cabeça. Essa produção depende de uma impressora 3D a laser (no caso foi construída no laboratório da UTFPR – Campus Medianeira), sem custo. Mas foi realizada tomada de preços e pode ser confeccionada em gráfica no valor de R\$ 150,00 em média, (vale a pena pois fica material de uso permanente ao professor).

Outra sugestão de construção é utilizando MDF, o que reduz o custo em cinquenta por cento, mas ressalta-se que a higienização do material fica a desejar, pois o acrílico pode ser higienizado com água e sabão ou álcool.

Sugere-se ainda, a construção do mesmo com papel cartão e barbante, mas isso toma tempo e serve para uma única utilização, pois o material se descola com facilidade, mas pode ser utilizado com o mesmo objetivo.

Dicas Importantes:

O tamanho da base não pode ser maior que uma folha A3, pois isso facilita o manejo na carteira da sala de aula e para o aluno deficiente visual é um tamanho adequado para que não se perca no limite de espaço.

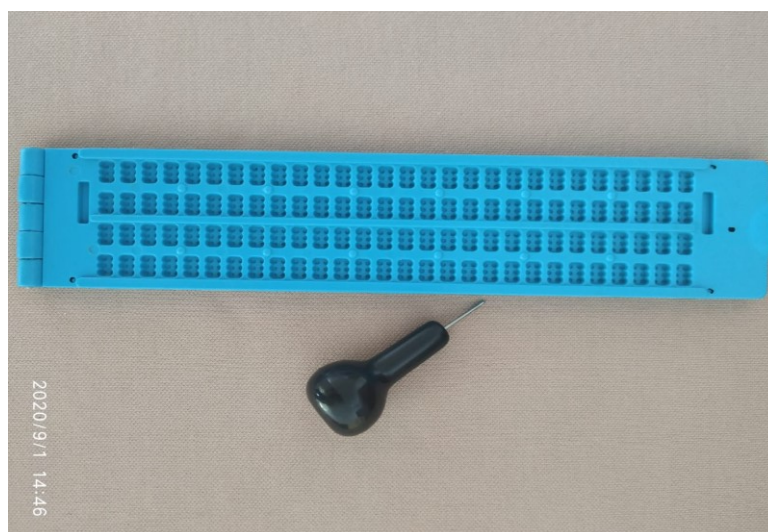
Os eixos x (período) e y (amplitude) devem ter algum diferencial em relação a onda. Esse diferencial pode ser um baixo relevo ou uma textura diferenciada (gravada a laser) para que o aluno perceba através do tato (alunos cegos) ou através da visão, que são relacionados a conceitos diferentes. No caso de produzir o material com papel cartão sugere-se a onda com barbante e os eixos com uma tira de lixa fina.

Outro detalhe importante é a distância entre cada meia oscilação de onda (deve ter uma distância de, no mínimo, 7cm para que seja possível a inserção

da escrita em Braille de cada um dos períodos relacionados). Deste modo, no tamanho de base sugerido A3, é possível colocar, no máximo, dois comprimentos e meio de onda.

A escrita em Braille pode ser feita utilizando papel *contact*, reglete e punção (materiais que servem para fazer escrita em braille como a máquina), a sugestão do papel *contact* foi dada por um servidor do CAPDV - Centro de Apoio Pedagógico à Pessoa com Deficiência Visual, de Francisco Beltrão - PR. Faz-se a escrita em Braille no *contact* e sobrepõe no acrílico, a leitura fica facilitada aos alunos cegos.

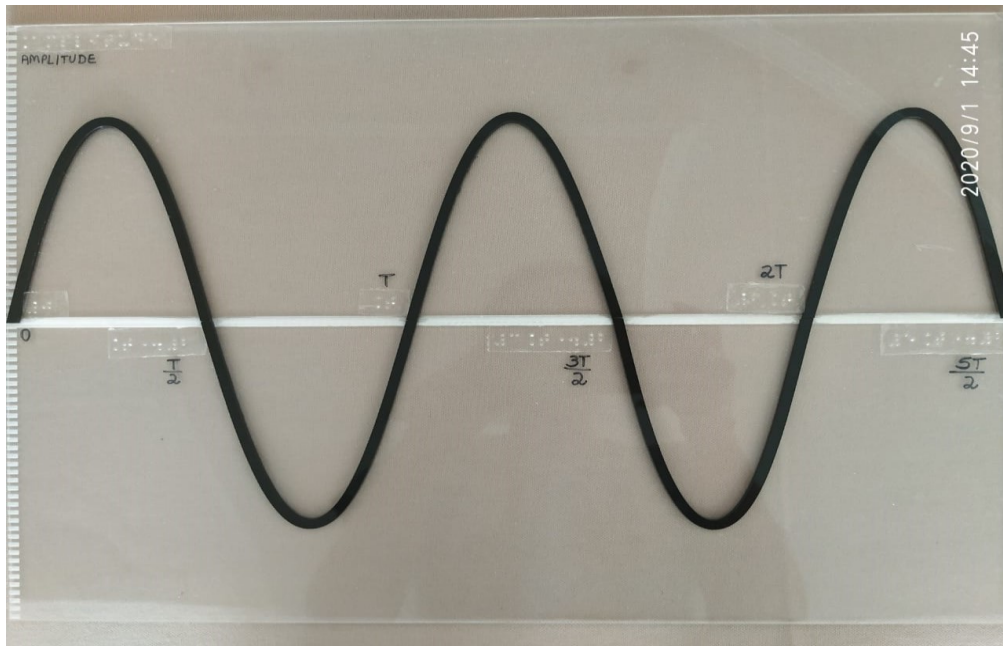
Figura 43: Reglete e punção



Fonte: Imagem próprio autor

Para os alunos que não têm problemas de visão, faz-se a escrita com caneta marcador para retroprojeter/CD, conforme a Figura 44a e 14b

Figura 44: Onda com marcações em Caneta



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 45: Onda com marcações em Caneta

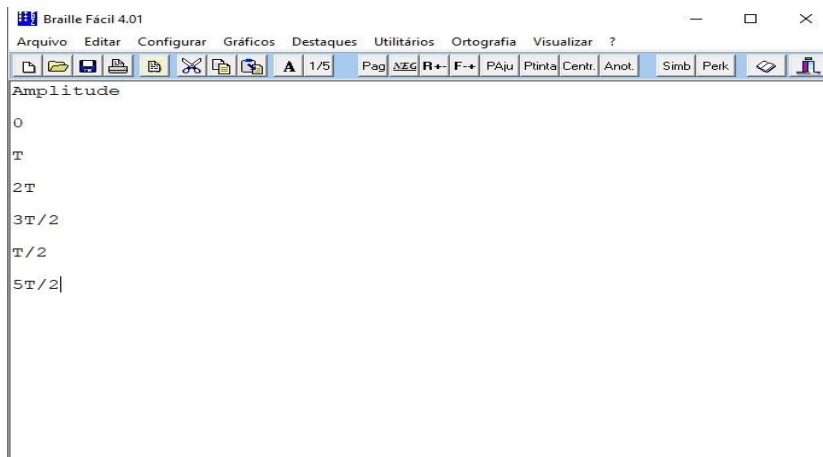


Fonte: Imagem próprio autor

O manual de escrita em Braille pode ser encontrado no site do ministério da Educação, onde é possível instalar um programa – Braille Fácil 4.01 que faz

a transcrição para Braille dando o modelo a ser reproduzido com uso da reglete, por exemplo.

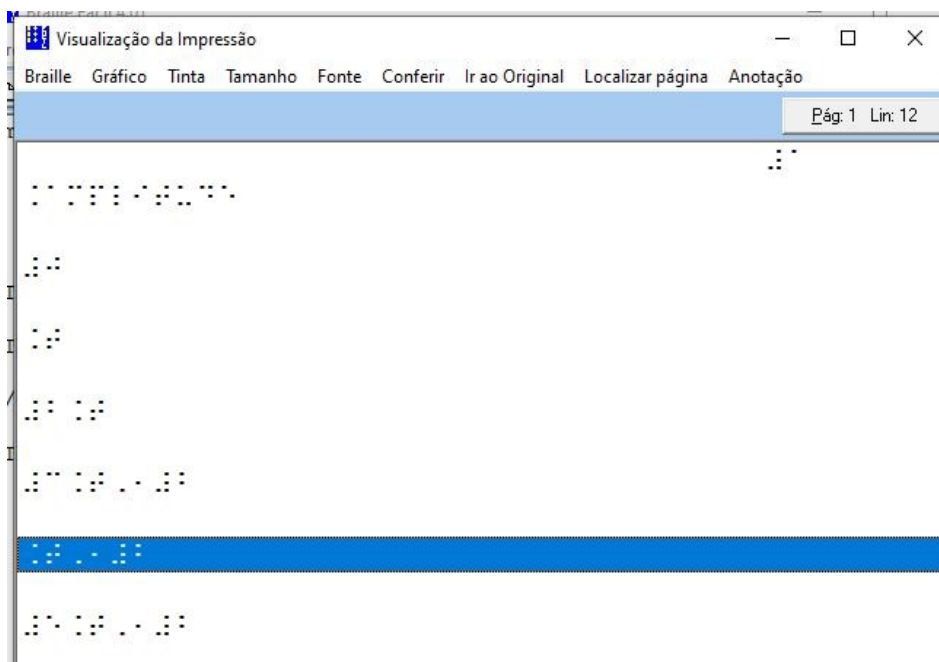
Figura 46: Tela inicial do programa, onde foi digitado aquilo que precisa ser transcrito



Fonte: Imagem próprio autor

Após clicar em visualizar, e aparece a tela com a transcrição em Braille.

Figura 47: Tela inicial do programa, onde foi digitado aquilo que precisa ser transcrito



Fonte: Imagem próprio autor

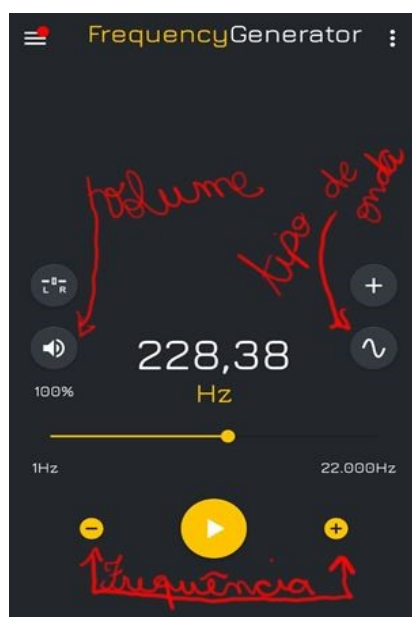
3.2. Recurso II: Gerador de Frequência – discutindo a diferença entre onda mecânica e eletromagnética.

Este recurso é um aplicativo disponível no *Play Store*, denominado *FrequencyGenerator*. A sugestão de uso é em grupos de alunos, de modo a facilitar o acesso, pois basta um dos alunos de cada grupo ter um aparelho celular que opere em *android* para baixar o aplicativo.

O tutorial de instalação e uso do aplicativo encontra-se em um vídeo com áudio disponível no link <https://youtu.be/-arPm60fj-Y>, o que facilita a utilização do mesmo, por todos que necessitem ou não de alguém para auxiliar.

O manuseio é simples, tem poucas funções e será utilizado para a prática somente as funções de frequência, volume e o tipo de onda a ser reproduzida na tela.

Figura 48: FrequencyGenerator



Fonte: Imagem próprio autor

Na opção tipo de onda, aparecem os formatos da figura, orienta-se utilizar o modelo *Sine*.

Figura 49: Tipos de onda possíveis de serem reproduzidos no aplicativo



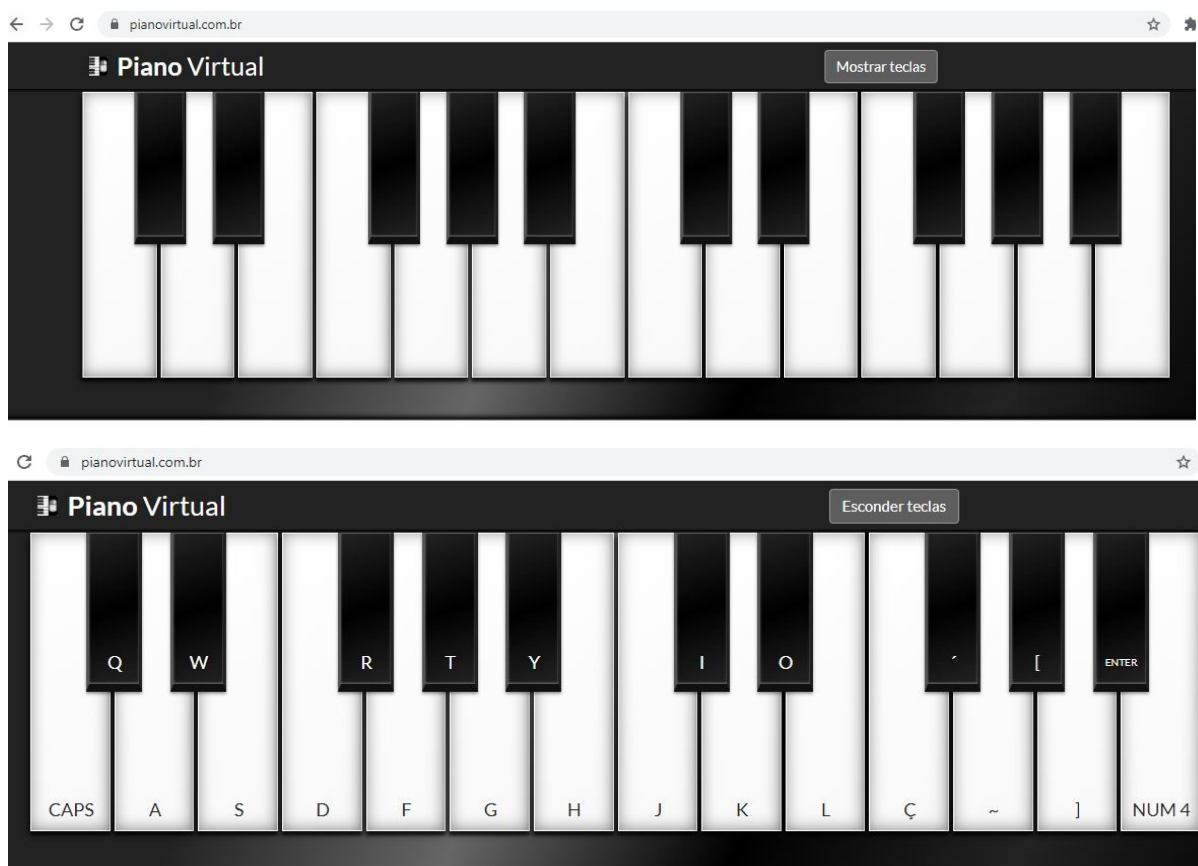
Fonte: Imagem próprio autor

3.3. Recurso III: Piano – relacionando sons e cores.

Este Recurso também é de fácil acesso, não tem nada a ser construído, necessita apenas de um piano de brinquedo (quem tem criança em casa, geralmente tem um), onde seja possível identificar as notas musicais (Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si).

Caso tenha um instrumento profissional, o som sai de melhor qualidade, mas isso também pode ser utilizado através do computador, basta ter acesso a internet e digitar no Google – Piano Virtual, vão aparecer várias sugestões, das quais, a de mais fácil utilização é encontrado no site www.pianovirtual.com.br (figura 50)

Figura 50: Piano Virtual



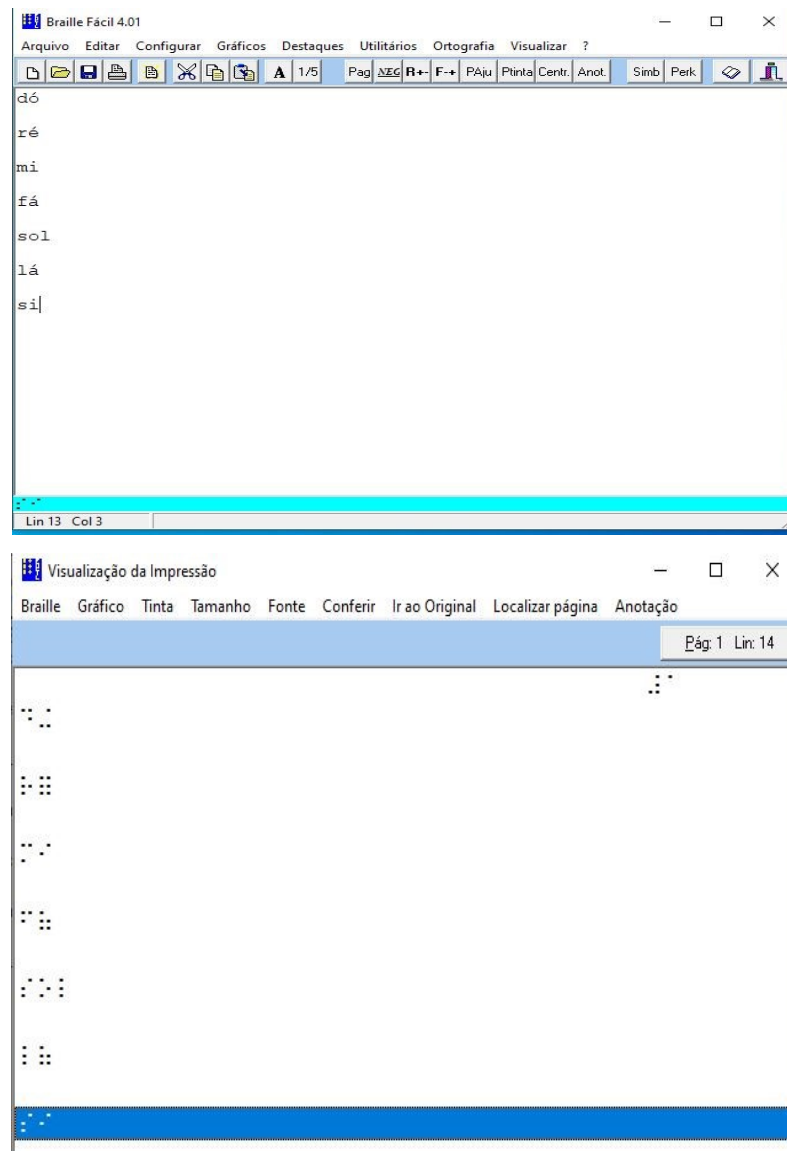
Fonte: Imagem próprio autor

Quando acessa o site aparece a primeira imagem, então deve-se clicar em mostrar teclas para fazer a relação entre as letras do teclado do computador com as notas musicais.

Para o objetivo proposto é necessário, somente a relação com as letras das teclas J, K, L, Ç, ~,), NUM4; que correspondem, nesta ordem às notas musicais Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá, Si.

Essas notas também podem ser transcritas em braile no papel *contact*, reglete e punção, utilizando o mesmo programa Braille Fácil para fazer o modelo a ser transcrito.

Figura 51: Braille Fácil - exemplo de transcrição



Fonte: Imagem próprio autor

3.4. Recurso IV: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética

Este recurso é uma reprodução do fenômeno em 3D da onda eletromagnética, referenciado por Eder Pires de Camargo em seu livro Inclusão e necessidade educacional especial: compreendendo identidade e diferença por meio do ensino de física e da deficiência visual.

Para construir a maquete, foram utilizados os seguintes materiais:

- 1 chapa de MDF de 6mm de espessura e 58 x 18 cm de lados;
- 4 peças de acrílico de 3mm de espessura e 12 x 16 cm de lados;
- 4 peças de acrílico de 3mm de espessura e 12 x 8 cm de lados;
- 1 barra de PVC de 1 x 1 x 58 cm;
- 1,5 m de cordão na cor laranja (tipo cadarço);
- 1,0 m de cordão na cor verde (tipo cadarço);
- 1 folha de papel *Colorset* laranja;
- 1 folha de *Colorset* verde;
- Cola branca;
- Fita dupla face;
- Tinta spray automotiva cor preta;
- Esmalte incolor para unhas.

Para construção são necessárias as seguintes ferramentas: Serra de fita, serra circular, lixadeira, furadeira, brocas de 2,5mm e 3mm, serra, lima fina, régua, esquadro, estilete, pistola de cola quente.

Para a construção da maquete:

Faça esquemas num papel grosso (quatro meio período de oscilação para a onda elétrica, e quatro para a magnética, com comprimento de onda de 24 cm e amplitude 16 cm), cole sobre a placa de acrílico com fita dupla face. Corte as peças com uma serra fita e, em seguida, refine o corte utilizando uma lixadeira.

Antes de retirar o papel que serviu de molde, risque com estilete no acrílico, linhas paralelas, de modo que as marcas fiquem em alto relevo. Essas marcas representarão a direção e sentido de oscilação dos vetores associados aos campos elétrico e magnético.

Em cada face da barra de PVC de 1 x 1 x 58 cm, faça um rebaixamento de 3mm de largura. Eles devem ir de um extremo a outro das faces da barra. Para isso utiliza uma serra circular. A barra sustentará as peças de acrílico a serem encaixadas e coladas com esmalte incolor.

Nas canaletas, a cada 12 cm (comprimento de meio período de oscilação da onda), faça, com a broca de 3mm, um furo passante.

Para a construção da base de apoio, utilize uma chapa de MDF cru, de 6mm, de dimensões 58 x 18 cm e duas hastes de madeira de 18 cm, parafusadas na vertical.

Cole os cordões coloridos sobre as peças senoidais, os quais tem o objetivo de diferenciar, aos alunos videntes, ou baixa visão, as representações do campo elétrico e magnético da onda. Salienta-se que esse parâmetro é arbitrário, sendo necessário esclarecer aos alunos que a ideia de campo, na Física, não contém ideia de cor.

A etapa final consiste em pintar a base com tinta automotiva preta. Para isso primeiro passe cola branca sobre toda a superfície da madeira para evitar que esta absorva muita tinta.

Use cola quente para prender a representação dos campos aos suportes de madeira. Com papel grosso faça a representação do vetor que mostra a direção e o sentido da propagação da onda eletromagnética.

Recorte pequenas setas no papel Colorset para representar os vetores associados aos campos elétrico e magnético. Essas setas devem ser coladas com esmalte incolor nos riscos paralelos das peças de acrílico.

Variações: O eixo de sustentação pode ser feito em madeira e as representações de onda eletromagnética de acrílico pode ser substituída por papel grosso (papel Paraná 3mm) ou madeirite flexível. As linhas paralelas de representação de direção e sentido de oscilação dos vetores associados aos campos elétrico e magnético pode ser feita utilizando fios de luz e as setas substituídas por pequenas lâmpadas, fazendo uma montagem de circuito elétrico onde o aluno, além de tatear a tridimensionalidade da onda, poderá sentir o calor emitido pela onda luminosa em todas as direções (Figura 52, Figura 53)

Figura 52: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética



Fonte: Imagem próprio autor

Figura 53: Maquete de representação de uma onda Eletromagnética



Fonte: Imagem próprio autor

3.5. Recurso V – OPCIONAL: Uso do Arduíno para o ensino de Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia

Como o nome sugere, o recurso é um projeto de arduíno, cujo código e modelo segue abaixo:

Materiais:

1 Placa de arduíno (qualquer uma funciona, a leonardo, uno e etc);

7 Jumpers para fazer as conexões;
1 Sensor de luminosidade LDR;
Buzzer (tem dentro de computadores);
Resistor 10kOhm.

Código para funcionar o arduíno:

// Projeto de intensidade de Luz usando Arduíno

//Sensor de luz com LDR

Quadro 3: Código para Programação do Arduíno

```
int ledPin = 7; //Buzzer no pino 7
int ldrPin = 0; //LDR no pino analógico 0
int ldrValor = 0; //Valor lido do LDR

void setup() {
    pinMode(BuzzerPin,OUTPUT); //define a porta 7 como saída
}

void loop() {
    //ler o valor do LDR
    ldrValor = analogRead(ldrPin); //O valor lido será entre 0 e 1023

    //se o valor lido estiver entre 0 e 300, frequencia do bip é máxima
    if (ldrValor >= 0 && ldrValor <= 300){
        tone(buzzer,1500);
        delay(250);
    }
}
```

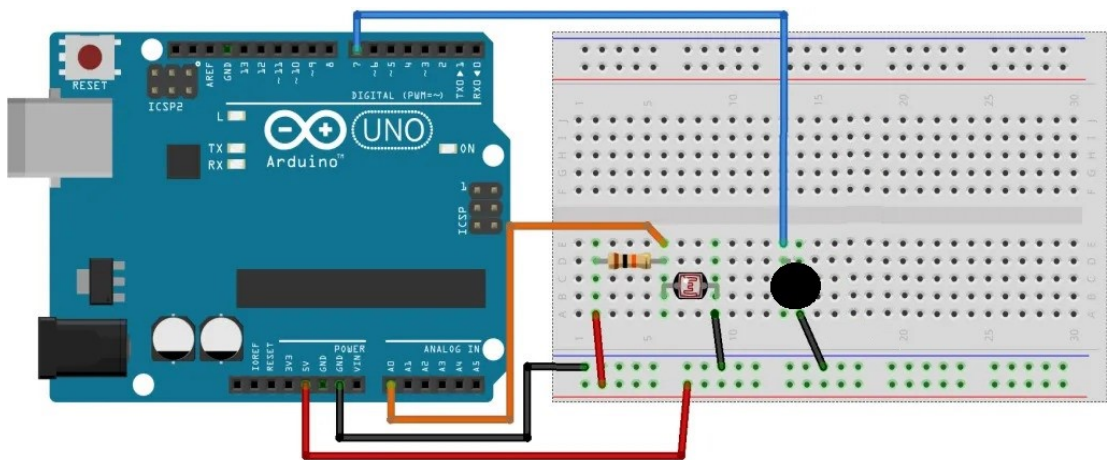
(continua)

(continuação)

```
//se o valor lido estiver 300 e 700, frequencia do bip é média
else if (ldrValor > 300 && ldrValor <= 700)) {
    tone(buzzer,1500);
    delay(500);
}
//se o valor lido estiver 700 e 1000 frequencia do bip é média
else if (ldrValor > 700 && ldrValor <= 1000)) {
    tone(buzzer,1500);
    delay(1000);
}
delay(100);
}
```

Fonte: Elaborada pela autora, 2020

Figura 54: Uso do Arduino para o ensino de Vetor de Poynting – densidade de fluxo de energia - Montagem



Fonte: Imagem do próprio autor utilizando o software *Fritzing*

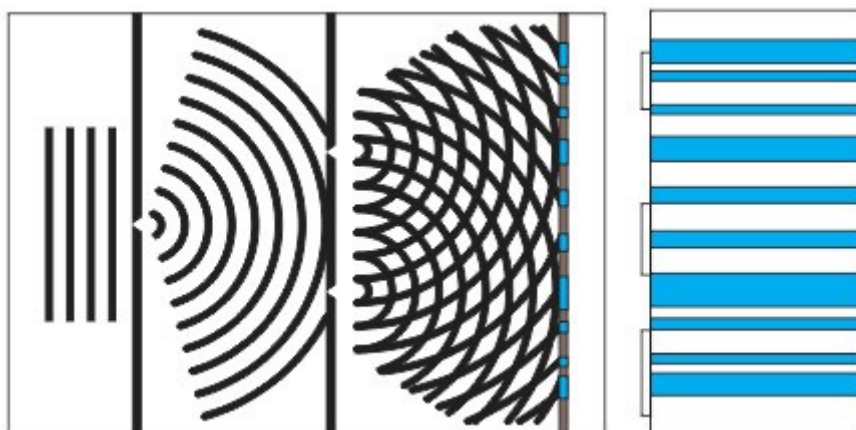
3.6. Recurso VI – Fenômeno de Interferência: Recurso Tátil - Visual para compreender o experimento de Thomas Young

Este recurso é uma representação, como o nome sugere, do fenômeno de Interferência da Luz, baseado na imagem proposta na página 82 do livro de Halliday (2009).

A partir da imagem do livro, no programa denominado *Inkscape*- um software profissional de edição e criação de imagens vetoriais. Ele é uma alternativa livre e gratuita ao *Adobe Illustrator* e ao *CorelDraw*. Para posterior impressão, em baixo relevo, numa impressora 3D a Lazer.

O projeto da referida representação , é demonstrada na Figura 55 :

Figura 55 - Representação do Fenômeno de Interferência da Luz

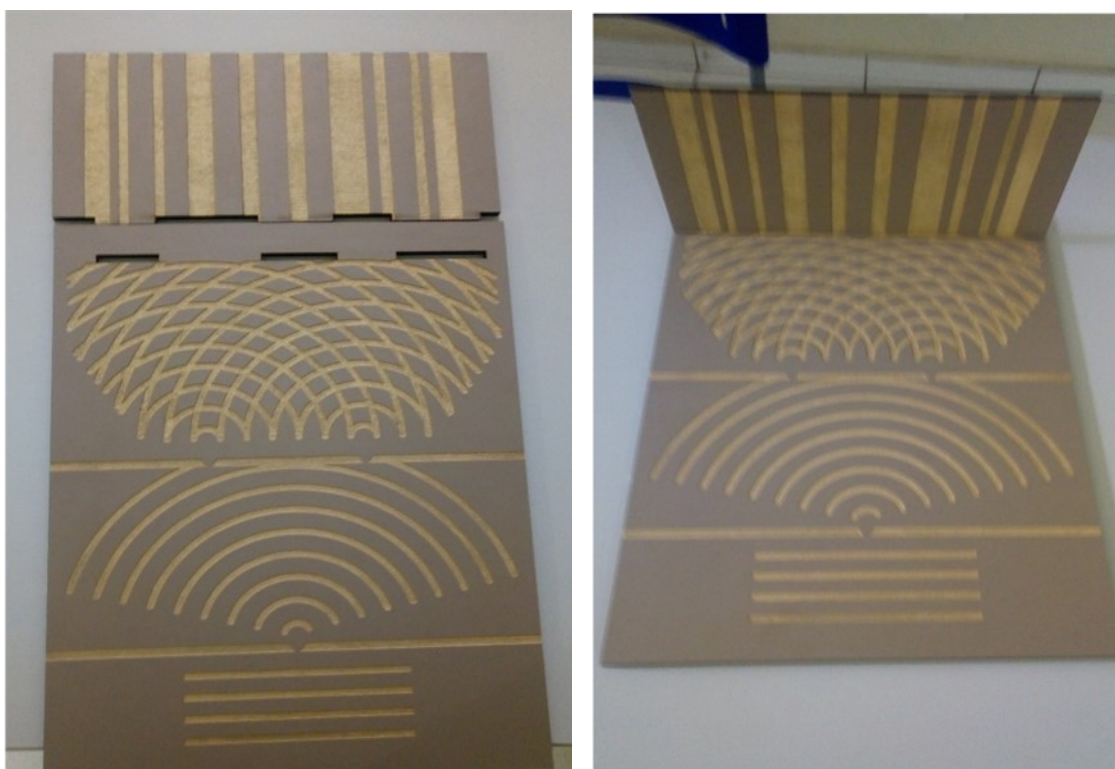


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Para ser feito em duas peças, sendo possível demonstrar aos alunos a imagem formada no anteparo, ou seja, os máximos e os mínimos da interferência.

A impressão pode ser feita em acrílico ou MDF (opção com melhor custo benefício). E fica conforme Figura 56:

Figura 56 - Representação de Interferência na Onda - Impressa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Uma sugestão que onera menos o professor é reproduzir em papel com barbante:

Figura 57 - Representação da Interferência na Onda em Barbante



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Produto Educacional aqui apresentado, se constitui em uma ferramenta didática que busca oportunizar a inclusão educacional nas aulas de Física, mais especificamente, no que tange aos conteúdos da Natureza Ondulatória da Luz.

Os recursos didáticos propostos podem ser construídos e replicados sem a necessidade de conhecimentos avançados, auxiliam o docente no ensino do conteúdo pretendido, à medida que também contribuem para a concretização de uma aprendizagem significativa, tanto para alunos videntes quanto para alunos deficientes visuais.

A Proposta Didático Pedagógica aqui sugerida, pode servir de apoio ao professor que realmente vislumbre esse tipo de aprendizagem, mas isso não significa que a mesma, deva obrigatoriamente, ser seguida e aplicada na íntegra. As atividades propostas podem ser utilizadas de forma independente, de acordo com o conteúdo trabalhado pelo professor nas aulas de Física, sendo recursos úteis para o ensino da Ondulatória, assim como para o ensino da Natureza Ondulatória da Luz.

Importante salientar que os mesmos recursos podem ser utilizados para uma sala de aula onde não tenha, necessariamente, um aluno deficiente visual incluso, ou seja, é possível que o professor aguçe nos alunos a utilização de diferentes sentidos, não exclusivamente a visão, para compreender diferentes conceitos relacionados à Física.

As ações didáticas como as propostas no texto de apoio ao professor, refletem uma aprendizagem significativa, permitindo a todo e qualquer aprendiz fazer uso dos mais diversos sentidos, e ainda utilizando da intervenção pedagógica do professor e dos colegas, com diferentes contextos e representações (jogos, sons, atividades em grupos, palavras...). Ou seja, a Aprendizagem Significativa de Ausubel e o Interacionismo de Vygotski, aliados à Didática Multissensorial podem dar conta de garantir o processo de aprendizagem dos alunos deficientes visuais inclusos numa sala de aula de ensino regular. Cabe oferecer a todos os educandos as mesmas oportunidades e exigências.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM ENSINO-APRENDIZAGEM

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. 1.^a edição. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003

CAMARGO, E. P. Inclusão e Necessidade Educacional Especial. Compreendendo Identidade e Diferença. In: CAMARGO, E. P. de. (Org.). **Inclusão e necessidade especial: compreendendo identidade e diferença por meio de física e da deficiência visual**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

COSTA, D. A. F. Superando limites: a contribuição de Vygotsky para a educação especial. **Rev. psicopedag.**, São Paulo, v. 23, n. 72, p. 232-240, 2006. Disponível em http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862006000300007&lng=pt&nrm=iso

LAPLANE, A. L. F.; BATISTA, C. G. Ver, Não Ver E Aprender: A Participação De Crianças Com Baixa Visão E Cegueira Na Escola. **Cad. Cedes**, Campinas, vol. 28, n. 75, p. 209-227, maio/ago. 2008 Disponível em <http://www.cedes.unicamp.br> Acesso em 01 de junho de 2020

LA TAILLE, Y.; OLIVEIRA, M. K. de; DANTAS, H. **Piaget, Vigotski, Wallon: Teorias psicogenéticas em discussão**. São Paulo: Summus Editorial, 2019

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a Teoria e Textos Complementares**. 1^a Edição. São Paulo: Livraria da Física, 2011

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa, Organizadores Prévios, Mapas Conceituais, Diagramas e Unidades De Ensino Potencialmente Significativas**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2012

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Interfaces Entre Teorias De Aprendizagem E Ensino De Ciências/Física**. Porto Alegre: UFRGS, 2015. Disponível em <https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v26_n6.pdf> Acesso em 22 de setembro de 2018

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente (Meaningful learning: an underlying concept). **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review** – V1(3), pp. 25-46, 2011. Disponível em: <https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/pe_Goulart/Material_de_Apoio/Referencial%20Teorico%20-%20Artigos/Aprendizagem%20Significativa.pdf> Acesso em 22 de setembro de 2018

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: A teoria da Aprendizagem Significativa**. 2ª Edição. Porto Alegre: UFRGS, 2016. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsios6.pdf>> Acesso em 15 de setembro de 2018

OLIVEIRA M. K. de . **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento: Um processo sócio-histórico**. 4ª Edição. São Paulo: Scipione, 2005

5.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA EM ENSINO-APRENDIZAGEM

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4; p. 82

HELWITT, P. G. **Física conceitual** (recurso eletrônico) / Paul G. Hewitt ; tradução: Trieste Freire Ricci ; revisão técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2015. p. 363

NUNSENZVEIG, H. M.. **Curso de Física Básica**, Volume 2 – Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. 4ª edição , São Paulo: Editora Blucher, 2010

APÊNDICE A: Texto: Luz – Onda Eletromagnética

LUZ : ONDA ELETROMAGNÉTICA

“Luz, com a qual enxergamos, é apenas uma pequena parte do vasto espectro de um mesmo tipo de coisa, as várias partes deste espectro sendo distinguidas pelos diferentes valores de uma mesma grandeza, a qual varia. Esta grandeza variável poderia ser chamada de comprimento de onda. Conforme esta varia na faixa do espectro do visível, a luz aparentemente muda de cor do vermelho para o violeta” (Feynman, 2008, p. 270)

Compreender a natureza da luz sempre foi um objetivo da Física. A luz é um fenômeno complexo que apresenta muitas oportunidades de aplicações e a interferência ótica ou interferência de ondas luminosas é uma destas oportunidades, pois explica vários fenômenos da natureza, dentre eles a percepção das diferentes cores, daí a necessidade de ir além do estudo da ótica geométrica. (Halliday, 2009, vol.4)

A natureza da Luz foi estudada e explicada por diferentes concepções ao longo da história, mas houve por um bom tempo a predominância da teoria corpuscular da luz, defendida veementemente por Isaac Newton. No final do século XVIII, no entanto, os modelos mecânicos da ótica newtoniana não deram conta de explicar vários fenômenos relacionados com a luz, o que abriu possibilidades para retomarem a teoria da luz como onda, até então defendida por Christian Huygens (primeiro físico a apresentar uma teoria ondulatória convincente para a luz, em 1678) mas com pouca aceitação e com a necessidade de algumas correções, porém teve a vantagem de explicar as leis da reflexão e refração em termos de ondas. Foi então que, no início do século XIX grandes obras baseadas na concepção de ondas impulsionaram o desenvolvimento da teoria ondulatória da luz e foram ganhando espaço, à medida que conseguiam explicar com mais clareza, dando detalhes quantitativos e qualitativos a fenômenos como a interferência, difração e polarização da luz,

entre outros importantes fenômenos ópticos. (Martins e Silva, 2019. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.41; Hewitt, 2015)

A liderança dos estudos sobre a nova teoria ondulatória da luz se deu por Thomas Young (1773-1820) e Augustin Fresnel (1788-1827), através de pesquisas sobre difração e interferência.

Maxwell (1831-1879), deu forma à teoria moderna do Eletromagnetismo, unificando a eletricidade, o magnetismo e a óptica, apresentando uma teoria eletromagnética para a luz, ou seja comprovou que a luz é uma propagação de ondas elétricas e magnéticas, através de comprovações algébricas.

4.1- O EXPERIMENTO DE THOMAS YOUNG

Thomas Young, físico, médico e egiptólogo britânico, desenvolveu um experimento de interferência que ficou conhecido como experimento da fenda dupla ou experimento de Young, provando que a luz é uma onda, através da demonstração de que a luz, assim como outras ondas (ondas sonoras, onda do mar) sofre interferência. No entanto, somente a partir de 1830, um século após a morte de Newton, que a teoria ganhou aceitabilidade entre vários estudiosos da época. (Martins e Silva, 2019; Halliday, 2009).

Martins e Silva, realizaram um estudo aprofundado sobre os mais diversos trabalhos, nacionais e internacionais de Thomas Young, dentre eles algumas transcrições de suas teorias e apresentam em sua publicação de 2019, na Revista Brasileira de Ensino de Física, as repercussões dos trabalhos de Thomas Young, explicando, inclusive, que os estudos sobre a teoria ondulatória da luz e os fenômenos de interferência levaram em média sete anos para serem concluídos e que, nenhuma contribuição algébrica veio de seus estudos. Apontam que Young fez vários estudos relacionando a luz com o som, para provar a natureza ondulatória da luz, e que suas primeiras pesquisas buscaram explorar os temas de acomodação visual e acústica, servindo de introdução ao seu trabalho de óptica física.

De acordo ainda com Martins e Silva, 2019, um dos argumentos utilizados por Young, baseou-se no fato de que a luz devia mover-se mais devagar num meio mais denso, revendo assim a teoria da refração que não podia ser explicada pela teoria corpuscular. Tentava fundamentar essa ideia, assim como

outras argumentações acerca da natureza ondulatória da luz, não só a partir de experimentos, mas também por meio da analogia com o som.

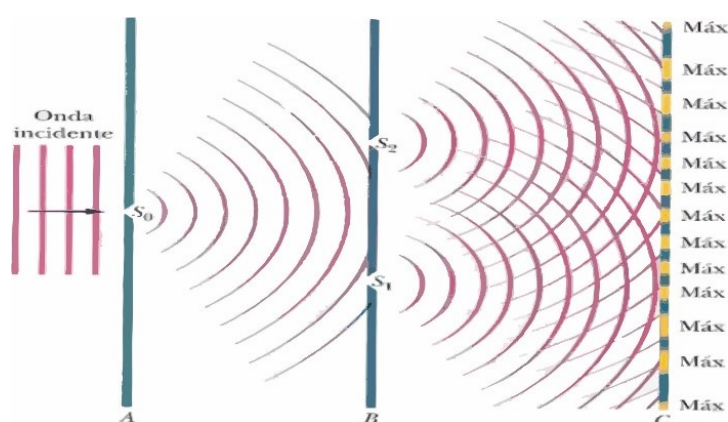
De acordo com Halliday (2009) e Martins e Silva (2019), Young desenvolveu um experimento que buscou a comprovação do princípio da interferência, o qual foi publicado na *Philosophical Transactions*, em 1804 com o título “*Experiments and Calculations Relative to Physical Optics*”, onde ele afirma que realizou experimentos sobre franjas coloridas e que encontrou provas de que estas franjas são produzidas por duas porções de luz, de acordo com a transcrição dos documentos, na leitura de Martins e Silva, Young descreveu assim o experimento:

Eu fiz um pequeno orifício na persiana da janela, e cobri este com um pedaço de papel grosso, que eu perfurei com uma agulha fina. Para maior comodidade de observação, eu coloquei um pequeno espelho sem a persiana da janela, em tal posição de modo a refletir a luz do Sol, na direção aproximadamente horizontal, na parede oposta, e para fazer o cone de luz divergente passar por cima da mesa, onde havia várias telas pequenas de papel cartão. Eu trouxe para o raio do Sol um cartão deslizante, de aproximadamente um trigésimo de uma polegada de largura, e observei sua sombra, seja na parede, ou nos outros cartões mantidos a diferentes distâncias. Além das franjas coloridas em cada lado da sombra, a própria sombra era dividida por franjas paralelas similares, de dimensões menores, diferindo em número, conforme a distância que a franja era observada, mas deixando o meio da sombra sempre branco. Desta maneira, essas franjas eram os efeitos comuns das porções de luz passando em cada lado do cartão deslizante; infletidas, ou melhor difratadas, na sombra. Pois, uma pequena tela sendo colocada a poucas polegadas do cartão, de modo a receber qualquer uma das bordas da sombra na sua margem, todas as franjas que tinham antes sido observadas na sombra na parede imediatamente desapareceram, embora a luz infletida no outro lado pudesse manter seu curso (2019, p.5)

Na interpretação de Halliday (2009), Thomas Young provou que a luz é uma onda em seu experimento de interferência. O experimento é descrito de modo que uma luz monocromática (onda incidente), incide numa fenda feita em um anteparo e é difratada. Quando esta onda incidente atravessa o anteparo, emite frentes de onda semicirculares que, ao atravessarem um segundo

anteparo e acaba sendo difratada novamente por outras duas fendas separadas por uma certa distância, e se comportam como duas fontes luminosas pontuais, essas ondas luminosas que deixam as fendas se combinam e sofrem interferência, formando um padrão de interferência composto de máximos e mínimos em uma tela de observação que é usada para interceptar a luz, esses máximos e mínimos também são chamados de franjas claras que são aquelas listras iluminadas que são observadas nas famosas fotos de figura de interferência, e as listras sem iluminação (onde as ondas se cancelam), denominadas franjas escuras, que no conjunto formam a figura de interferência.

Figura 58 - Experimento de Young



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

Em outra interpretação, pode-se dizer que através deste experimento, Young descobriu que a luz que incide e atravessa dois furos de alfinete muito próximos, produz franjas claras e escuras sobre uma tela colocada atrás deles. As franjas brilhantes ou claras, se formam quando a crista de uma onda luminosa que veio de um dos furos se superpõe simultaneamente, na tela, à crista de uma onda luminosa que veio do outro furo. As franjas escuras se formam quando a crista de uma onda que veio de um dos furos se superpõe simultaneamente, na tela, ao vale de uma onda luminosa que veio do outro furo. (Hewitt, 2015, p.550)

Ainda de acordo com as interpretações de Martins e Silva (2019), Young desenvolveu estudos e experimentos para mostrar que a Lei da Interferência concordava com diversos fenômenos, como a formação de franjas de difração, arco íris entre outros.

Entre os principais aspectos dos trabalhos de Young, podemos concluir que ele: 1) recorre sempre a analogias para explicar os fenômenos luminosos,

como a analogia com fluidos, corpos elásticos e, principalmente, a analogia com o som; 2) defende a realização de experimentos para corroborar as conjecturas feitas acerca dos fenômenos luminosos; 3) não se utiliza de formulações algébricas, mas utiliza raciocínios geométricos; 4) cita o nome de outros estudiosos, a exemplo de Huygens, Newton e Euler. (Martins e Silva, 2019, p.5)

Assim Young comprovou experimentalmente que a luz é uma onda, pois além de apresentar características de onda, explica fenômenos luminosos que somente a teoria ondulatória pode explicar, pois são incompatíveis a teoria corpuscular e, de acordo com Halliday (2009), ele conseguiu medir o comprimento de onda médio da luz solar de 570 nm, muito próximo do valor aceito nos dias de hoje, de 555 nm.

4.2- DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA - UMA PROVA DE QUE A LUZ É UM FENÔMENO ONDULATÓRIO

Nos experimentos de Young fala-se em luz sendo difratada, e que após esta difração elas sofrem interferência, mas o que são estes fenômenos?

Halliday (2009) explica a difração de uma onda, como sendo um fenômeno que ocorre com todos os tipos de onda, inclusive as ondas luminosas, ele apresenta o seguinte conceito: **“quando uma onda encontra um obstáculo que possui uma abertura de dimensões comparáveis ao comprimento de onda, a parte da onda que passa pela abertura se alarga (é difratada) na região que fica do outro lado do obstáculo”** (p. 81, vol.4). Huygens já citava esse alargamento em sua teoria, ao explicar a propagação de uma onda plana no vácuo e seu princípio dizia o seguinte: **“Cada ponto de uma frente de onda qualquer pode ser considerado como uma fonte de pequenas ondas secundárias, que dali se espalham divergindo em todas as direções com um mesmo valor de velocidade de propagação.”** (Helwitt, 2015, p. 545).

O Princípio de Huygens pode ser melhor explicado ou visualizado quando se faz com que ondas planas incidam por aberturas de diferentes tamanhos em uma cuba com água, quanto mais larga a abertura, a onda atravessa sem sofrer alterações, mas se a abertura vai sendo diminuída, de modo que seja pequena em relação ao comprimento de onda da onda incidente, se vê a validação do Princípio de Huygens, em que cada parte da onda pode ser uma fonte para

novas ondulações. **“Quando as ondas incidem sobre uma abertura estreita, é fácil notar que a água que se movimenta para cima e para baixo na abertura, atua como uma fonte pontual de novas ondas... dizemos que as ondas foram difratadas.” (Helwitt, 2015, p. 547).**

Nunssenzveig (2010), também trata a difração como sendo um desvio da propagação retilínea da luz, também relacionado à deflexão de raios luminosos, a qual pode ser aplicada tanto à passagem através de uma abertura como ao espalhamento por um obstáculo. E que o grau de difração depende do comprimento de onda da luz em relação ao tamanho da abertura que projeta a sombra, de modo que quanto maior o comprimento de onda, maior a difração.

Um exemplo disso é explicado por Hewitt (2015), ele afirma que os microscopistas utilizam luz azul, ao invés de luz branca, para iluminar os objetos observados com o microscópio, pois com menor comprimento de onda é possível observar melhor os detalhes, pois a difração ocorre em menor grau relacionada a luz branca, da mesma forma que os golfinhos investigam sua vizinhança com ecos de pequenos comprimentos de onda – os ultrassons.

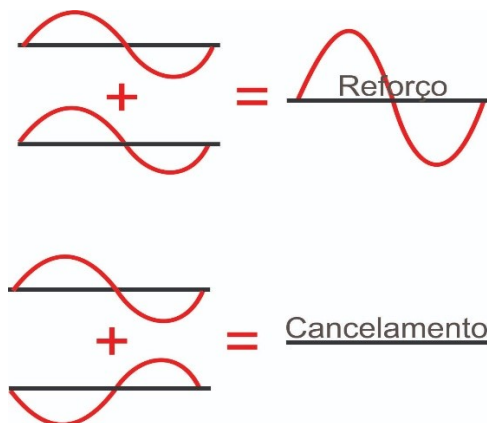
Já o arco-íris que pode ser observado na natureza, é explicado pelo fenômeno da interferência luminosa, e portanto, mais uma prova de que a luz é uma onda. Halliday, faz a seguinte explicação para o fenômeno do arco-íris:

As ondas luminosas penetram em toda a superfície da gota que está voltada para o Sol. Não vamos discutir os detalhes da trajetória dessas ondas, mas é fácil compreender que diferentes partes da onda incidente descrevem trajetórias diferentes no interior da gota. Isso significa que as ondas saem da gota em fases diferentes. Assim, para alguns ângulos de saída a luz está em fase e acontece uma interferência construtiva. O arco íris é o resultado dessa interferência construtiva. (2009, p.80, vol.4)

A interferência é característica de todo movimento ondulatório, podendo ser construtiva ou destrutiva, dependendo de como o deslocamento entre duas ou mais ondas, se superpõe: a interferência é construtiva quando a crista de uma onda se superpõe a crista de outra onda e seus efeitos individuais se somam resultando numa onda com maior amplitude, ou seja duas ondas em fase, como é o caso da percepção do vermelho do arco-íris, que é visualizado

pois as ondas de luz vermelha do arco-íris saem em fase das gotas de chuva na direção que o observador percebe esta parte do arco-íris; já a interferência destrutiva ocorre quando a crista de uma onda se superpõe ao vale de outra e seus efeitos são reduzidos pois estão fora de fase uma em relação à outra. (Halliday, 2009; Hewitt, 2015).

Figura 59 - Superposição de ondas – interferência construtiva e destrutiva



Fonte: elaborada pela autora (2020)

Thomas Young foi o primeiro a chamar atenção para o efeito da interferência e Nunssenzveig (2010) relata o exemplo dado por ele, de dois conjuntos de ondas na água que chegam juntos a um canal estreito:

Se entrarem no canal de tal forma que as elevações de um coincidem com as do outro, produzirão como resultado, elevações maiores; mas se as elevações de um coincidem com as depressões de outro, preencherão exatamente essas depressões, e a superfície da água permanecerá em repouso. Afirimo agora que resultados semelhantes ocorrem quando duas porções de luz se juntam, e é o que chamo de lei geral da interferência da luz. (p. 51, vol. 4)

“Os fenômenos de difração, como os de inferência, aos quais estão estreitamente ligados, são característicos de uma teoria ondulatória” (Nunssenzveig 2010)

APÊNDICE B: PRÉ TESTE E PÓS TESTE

- 1- O que é uma onda? Você pode responder citando exemplos.
- 2- Tente explicar como uma onda se propaga, ou seja, como ela chega de um ponto a outro?
- 3- O que é a luz para você?
- 4- Assinale a alternativa que apresenta as componentes de uma onda:
 - a) velocidade, aceleração, força e movimento
 - b) comprimento, frequência, período e energia
 - c) amplitude, período, frequência e velocidade
 - d) força, energia, elasticidade e velocidade
- 5- Onda transporta: () matéria () energia
- 6- Quanto a natureza das ondas, elas são classificadas em ondas mecânicas, eletromagnéticas e ondas de matéria. Sobre essa classificação, é possível afirmar:
 - a- Ondas mecânicas, eletromagnéticas e de matéria não apresentam diferenças significativas quanto a sua propagação em diferentes meios.
 - b- Ondas mecânicas transportam matéria e ondas eletromagnéticas transportam energia.
 - c- As ondas mecânicas se propagam apenas em meios materiais e as ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para se propagar.
 - d- Todas as ondas, independente de sua classificação, se propagam com a mesma velocidade da luz no vácuo que é de aproximadamente 300.000.000 m/s.
- 7- Nas alternativas abaixo, assinale a opção que melhor define o conceito de natureza da luz:
 - a- Luz pode ser onda e partícula pois todos os fenômenos luminosos são explicados por ambas as teorias.
 - b- Luz é uma onda eletromagnética que se propaga, no vácuo, com velocidade de aproximadamente 300.000.000 m/s.

- c- Fenômenos ondulatórios como difração e interferência da Luz também são explicados pela teoria corpuscular, admitindo assim que a luz é uma partícula.
 - d- Considerando os conceitos estudados na óptica geométrica não é possível admitir que luz seja uma onda eletromagnética.
- 8- Tente imaginar como ocorre a comunicação via telefone com fio (fixo) e via smartphone. De acordo com seus conhecimentos, assinale a alternativa que melhor explique sobre o princípio de funcionamento destes aparelhos de telecomunicação:
- a- Todos os tipos de telefone, sejam eles fixos ou móveis, com fio ou sem fio, funcionam com o mesmo princípio de transmissão via ondas de rádio que são ondas mecânicas.
 - b- O telefone com fio usa ondas mecânicas para funcionar enquanto outros meios de comunicação, como o rádio, a TV ou celular, usam as ondas de natureza eletromagnética, pois sofrem menos atenuação.
 - c- O telefone fixo sem fio e o celular tem o mesmo princípio de funcionamento que é através da transmissão via ondas mecânicas enquanto os fixos com fio a transmissão se dá por ondas eletromagnéticas.
 - d- Todos funcionam através de pulsos elétricos que são transmitidos através de fios visíveis ou por ondas de rádio, tv ou raios infravermelhos.
- 9- A luz do sol pode ser percebida ou sentida através de diferentes sentidos. Explique como você sente a luz do sol, como ela chega até nós? Percebe diferença na sua intensidade de acordo com o horário do dia ou o local que você está?