



DONIZETE TORRES DE MORAIS

**ESTUDO DE ONDAS NA PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA
COM A CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTRÔMETRO**

**Maringá
2018**



**ESTUDO DE ONDAS NA PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA
COM A CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTRÔMETRO**

DONIZETE TORRES DE MORAIS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Antonio Custodio de Melo

Maringá

2018

**ESTUDO DE ONDAS NA PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA
COM A CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTRÔMETRO**

DONIZETE TORRES DE MORAIS

Orientador:

Prof. Dr. Mauricio Antonio Custodio de Melo

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Mauricio Antonio Custodio de Melo
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Prof. Dr. Jusmar Valentin Bellini
Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Profª. Drª. Adriana da Silva Pontes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Maringá-PR
Dezembro, 2018

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos familiares, meus pais, irmãs, minha esposa e minhas filhas, Ana Flávia e Isadora Maria, pelo afeto inestimável.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela capacidade e pela paz de espírito e pelas condições recebidas;

Ao professor Dr. Maurício Antonio Custódio Melo, pela orientação e dedicação deste trabalho e seus ensinamentos preciosos que me ajudaram a chegar ao sucesso;

A coordenação do MNPEF – UEM, por tanta dedicação e os esclarecimentos dos coordenadores: Profa. Dra. Hatsumi Mukai e ao Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes, que fizeram parte dessa conquista.

A todos os professores da Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF - Polo UEM) que ajudaram direta e indiretamente a minha formação;

Aos colegas de turma do mestrado profissional, pelas mútuas descobertas, angústias, parcerias e alegrias vividas;

Aos técnicos de laboratórios e aos secretários que sempre foram atentos e educados;

A todas as pessoas com quem aprendi muito em escolas e firmas nas quais trabalhei, e me transformaram em uma pessoa melhor;

Ao Colégio Estadual Alfredo Moisés Maluf - Ensino Fundamental e Médio, e ao Diretor Geraldo Trabuco, por aceitar e incentivar o projeto e a aplicação deste Produto Educacional;

Ao departamento de Física da UEM;

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior(CAPES);

Agradeço a SBF (Sociedade Brasileira de Física), por esta oportunidade;

Agradeço a Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF – Polo UEM, por realizar um sonho;

Agradeço a Universidade Estadual de Maringá (UEM), por ter me transformado em uma pessoa mais útil à sociedade;

A todos que colaboram e me incentivaram até a chegada deste momento de êxito;

MUITO OBRIGADO A TODOS!

EPÍGRAFE

“Tudo aquilo que o homem ignora, não existe para ele. Por isso o universo de cada um, se resume no tamanho de seu saber.”

Albert Einstein

ESTUDO DE ONDAS NA PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COM A CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTRÔMETRO

DONIZETE TORRES DE MORAIS

Orientador:
Prof. Dr. Mauricio Antonio Custodio de Melo

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo UEM (MNPEF/UEM), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

RESUMO

Neste trabalho é proposta uma sequência didática voltada para o Ensino Médio (EM), mais prioritariamente ao ensino dos alunos do 2º ano do EM, abordando o conteúdo de ondas mecânicas e eletromagnéticas. As técnicas espectroscópicas são empregadas em diferentes aplicações científicas e tecnológicas. O objetivo principal é que os professores possam contar com mais este arranjo empírico pautado nos resultados qualitativos, buscando a predisposição do aluno em querer aprender, e a afetividade na relação professor e aluno, usando o conteúdo potencialmente significativo. O levantamento dos conhecimentos prévios foi realizado com a aplicação de mapa conceitual. A ampliação e sistematização de conhecimentos, através da discussão de questões em grupos, selecionadas para a realização desta pesquisa, a apresentação de vídeos e aulas expositivas, todas levando em consideração o levantamento dos conhecimentos prévios. A relação direta com o mundo real foi obtida através dos experimentos apresentados pelos alunos e, ao final, foi feita a apresentação do espectrômetro simples e barato, construídos para experimentos de espectroscopia introdutória. Através de mapas conceituais, foi possível fazer um levantamento dos conhecimentos adquiridos.

Palavras-chave: Sequência didática. Luz. Espectro Eletromagnético. Espectrômetro. Arduino. Ondas

WAVE STUDY IN THE SIGNIFICANT LEARNING PERSPECTIVE WITH THE CONSTRUCTION OF A SPECTROMETER

DONIZETE TORRES DE MORAIS

Supervisor:
Prof. Dr. Mauricio Antonio Custodio de Melo

Abstract of master's dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM (MNPEF/UEM), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

ABSTRACT

This work proposes a didactic sequence aimed at the High School (MS), more priority to the teaching of students of the 2nd year of MS, addressing the content of mechanical and electromagnetic waves. Spectroscopic techniques are employed in different scientific and technological applications. The main objective is that teachers can rely more on this empirical arrangement based on qualitative results, seeking the predisposition of the student to want to learn, and the affectivity in the relation between teacher and student, using potentially significant content. The survey of the previous knowledge was realized with the application of conceptual map. The expansion and systematization of knowledge, through the discussion of questions in groups, selected for the accomplishment of this research, the presentation of videos and expository classes, all taking into consideration the previous knowledge survey. The direct relation with the real world was obtained through the experiments presented by the students and, at the end, was presented simple and cheap spectrometer, built for experiments of introductory spectroscopy. Through conceptual maps, it was possible to make a survey of the knowledge acquired.

Key words: Spectrometer. Light. Electromagnetic spectrum. Arduino. Waves.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	4
AGRADECIMENTOS	5
EPÍGRAFE	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
SUMÁRIO	9
1 INTRODUÇÃO	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 ONDAS	12
Figura 1: Onda transversal	12
Figura 2: Onda longitudinal	12
2.1.1 INTERFERÊNCIA DE ONDAS E ONDAS ESTACIONÁRIAS	14
Figura 3: Oscilações de ondas (APRH, 2007)	15
2.1.2 ONDA ELETROMAGNÉTICA	16
Tabela 1: Equações de Maxwell microscópicas - formulação em termos de carga e correntes totais	16
Figura 4: Ondas eletromagnéticas (SKOOG, 2006)	17
Figura 5: Espectro visível (THINGLINK, 2015)	18
2.1.3 ESPECTRO VISÍVEL.....	18
Figura 7: Espectro visível da luz em função do comprimento de onda λ e da frequência ν (CORDELLA, 2009)	19
2.1.4 VELOCIDADE DA LUZ, REFLEXÃO E REFRAÇÃO.....	20
Tabela 2: Valores de velocidade de propagação de luz e os respectivos valores de índice de refração	20
Figura 8: Processo de reflexão e refração entre dois meios de diferentes índices de refração	21
2.1.5 DIFRAÇÃO DA LUZ	21
Figura 9: Experimento de duas fendas de Young (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)	22
2.1.6 REDES DE DIFRAÇÃO.....	22
Figura 10: Grade de difração (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)	23
2.1.7 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	24
2.1.8 TRANSIÇÃO ELETRÔNICA – MODELO DE BOHR	25
2.2 LED (LIGHT EMITTING DIODE).....	26

Tabela 3: Tipos de LED	28
2.3 ESPECTROSCOPIA ÓPTICA.....	28
2.3.1 A LEI DE LAMBERT-BEER	30
2.3 TEORIAS DE APRENDIZAGEM.....	31
2.3.1 OS MAPAS CONCEITUAIS: UMA TÉCNICA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA...34	
2.3.2 AS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS.....	35
3 METODOLOGIA	37
Tabela 4: Sequência didática	37
Tabela 5: Questões apresentadas para discussão com os alunos e respectivos objetivos	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS - MAPA CONCEITUAL INICIAL	42
4.2 AMPLIAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DE CONHECIMENTOS.....	43
4.2.1 DISCUSSÃO DE QUESTÕES EM GRUPOS NA TURMA	43
4.2.2 AULAS EXPOSITIVAS.....	43
4.2.3 VÍDEOS	43
Tabela 6: Vídeos apresentados	44
4.3 RELACIONANDO COM O MUNDO REAL.....	45
4.3.1 EXPERIMENTOS	45
Tabela 7: Experimentos apresentados pelas turmas	45
4.3.2 RELACIONANDO COM O MUNDO REAL - APRESENTAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO	46
4.4 LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS ADQUIRIDOS - MAPAS CONCEITUAIS FINAIS.....	48
5 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	57
ANEXO A	60
ANEXO B	71
ANEXO C	72
APÊNDICE	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Onda transversal.....	12
Figura 2: Onda longitudinal.....	12
Figura 3: Oscilações de ondas.....	15

Figura 4: Ondas eletromagnéticas	17
Figura 5: Espectro visível.....	18
Figura 6: Decomposição através do prisma ABC da luz branca F e composição através da lente MN no ponto G	19
Figura 7: Espectro visível da luz em função do comprimento de onda λ e da frequência ν .	19
Figura 8: Processo de reflexão e refração entre dois meios de diferentes índices de refração	21
Figura 9: Experimento de duas fendas de Young	22
Figura 10: Grade de difração	23
Figura 11: Radiação de corpo negro.....	24
Figura 12: Processo de emissão de luz por um LED.....	27
Figura 13: Medida do infravermelho por William Herschel em 1800.....	29
Figura 14: Alguns conceitos básicos da teoria de Ausubel representado por meio de um mapa conceitual.....	31
Figura 15: Representação esquemática do modelo de diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.....	33
Figura 16: Mapa conceitual mental inicial de uma das turmas	42
Figura 17: Apresentação do espectrômetro	46
Figura 18: Esquema da montagem experimental.....	47
Figura 19: Montagem experimental dentro de uma caixa para mostrar o arranjo experimental	47
Figura 20: Mapa final 1	50
Figura 21: Mapa final 2	50
Figura 22: Mapa final 3	51
Figura 23: Mapa final 4	51
Figura 24: Mapa final 5	52
Figura 25: Mapa final 6	52
Figura 26: Mapa final 7	53
Figura 27: Mapa final 8	53
Figura 28: Mapa final 9	54
Figura 29: Mapa final 10	54
Figura 30: Mapa final 11	55

1INTRODUÇÃO

O ensino introdutório e superficial das ondas mecânicas e eletromagnéticas no Ensino Médio acaba por distanciar o estudante de uma das finalidades da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB)(BRASIL,1996) que é a compreensão dos conhecimentos científicos fundamentais e das respectivas tecnologias relacionadas, conforme artigo 35, inciso III:

A compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina(BRASIL, 1996).

Assim, para atender esse objetivo, um tipo de atividade que pode ser proposta é uma sequência didática, que inclua não somente o conteúdo, mas que procure estabelecer esta relação dos conhecimentos e das respectivas tecnologias relacionadas.

Neste trabalho, será apresentada uma proposta de sequência didática de ensino voltada para atividades normais dentro de uma sala de aula, usando, também, atividades experimentais de baixo custo e fácil aplicação. A sequência foi planejada para o 2º trimestre com aproximadamente 27 aulas, mas ficou a cargo da necessidade e, ainda, de adaptações necessárias para a realidade do professor, escola e alunos.

Uma sequência didática pode ser um conjunto de atividades pedagógicas, organizadas de maneira sistemática, com objetivos individuais, que corroboram para um objetivo principal. A presente sequência didática tem como proposta a construção de conhecimento sobre as ondas a partir, também, da observação de fenômenos, buscando uma interpretação qualitativa para os fenômenos físicos envolvidos.

A presente sequência didática é constituída de diversas etapas. Primeiramente, foi realizado, através da aplicação de mapa conceitual, um levantamento dos conhecimentos prévios. Estes serviram de base para as próximas etapas. A ampliação e sistematização de conhecimentos foram realizadas através da discussão de questões em grupos e nas turmas, com a apresentação de vídeos e com aulas expositivas, todas levando em consideração o levantamento dos conhecimentos prévios. A relação direta com o mundo real foi obtida por meio de experimentos apresentados pelos alunos e, ao final, foi feita apresentação do

espectrômetro simples e de baixo custo, construídos para experimentos de espectroscopia introdutória.

Um espectrômetro é um instrumento que utiliza o princípio de decomposição da luz nas diversas cores dado o comprimento de onda e fazendo a leitura da frequência componentes, normalmente com um prisma ou grade de difração, e mede a intensidade de cada cor (OLIVEIRA; AZEVEDO; NUNES, 2015; AZEVEDO; NUNES, 2008). Os espectrômetros foram desenvolvidos em estudos iniciais de física, astronomia e química. A capacidade da espectroscopia para determinar a composição química impulsionou seu avanço e continua sendo um dos seus principais usos. Os espectrômetros são usados em astronomia para analisar a composição química de estrelas e planetas. Neste trabalho, o espectrômetro utilizado foi desenvolvido com auxílio dos técnicos de mecânica e eletrônica do Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá (UEM), visando ser uma construção sólida, simples e de baixo custo, mas que fosse muito parecido com os espectrômetros comerciais na sua funcionalidade e qualidade.

Este trabalho foi elaborado para o Ensino Médio (EM), mais prioritariamente ao ensino dos alunos do 2º ano do EMe foi aplicado no Colégio Estadual Alfredo Moisés Maluf, no município de Maringá-PR. Porém, também pode ser utilizado nos cursos superiores pelos professores de Licenciatura em Física e afins (ciências, matemática, química e outros). O objetivo é prover uma sequência didática para o estudo das ondas mecânicas e eletromagnética, envolvendo os alunos no processo de aprendizagem, discutindo conceitos básicos aplicados da natureza ondulatória de luz e, também, discutir conceitos de luz como partícula. Tomou-se o cuidado de fazer apresentação de aplicações no dia-a-dia e também no meio científico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ONDAS

Para desenvolver o estudo de algumas características intrínsecas da luz, uma abordagem dos conceitos fundamentais de ondas se faz necessária. Para a Física, a onda é uma perturbação que se propaga no espaço ou em qualquer outro meio transportando energia. Segundo Nussenzveig (2002), uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro de um meio, com velocidade definida. Esta transmissão do sinal acontece sem que haja transporte direto de matéria de um desses pontos ao outro. Elas são classificadas em relação à natureza, direção e energia de propagação.

Uma onda pode ser **transversal** (Figura 1) ou **longitudinal** (Figura 2). Uma associação com o movimento transversal é movimento de um pulso gerado em uma corda, como um ponto que se movimenta para cima e para baixo ao longo da corda, já o movimento longitudinal está para uma onda sonora, pois são paralelas à direção de propagação, como as ondas sonoras.

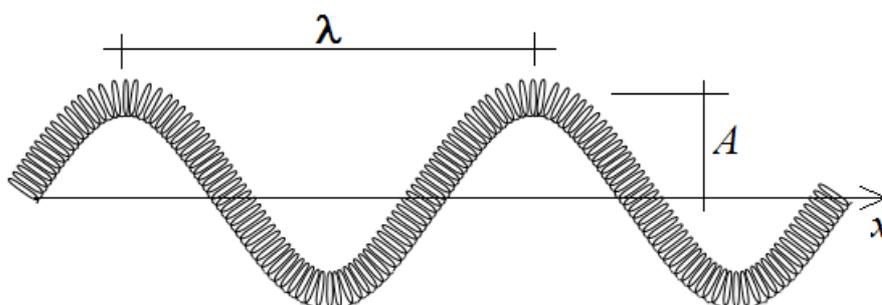


Figura 1: Onda transversal

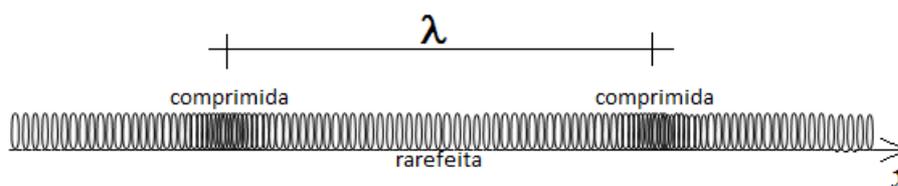


Figura 2: Onda longitudinal

Na Figura 1, podemos observar o comprimento de onda λ , que é determinado por uma oscilação completa. Na onda transversal vemos a amplitude A da oscilação,

que é determinada pelo máximo da onda no eixo y . O comprimento de onda λ em uma onda longitudinal é mostrado na Figura 2.

Matematicamente, Halliday, Resnick e Walker (2009) representam uma onda transversal como: $y(x) = A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x + \delta\right)$ (1), onde $y(x)$ é o deslocamento em x , A é a amplitude, λ é o comprimento de onda e δ é constante de fase ou ângulo de fase. A função \cos completa uma oscilação completa em 2π . Quando x for igual ao comprimento de onda λ , na equação 1, este primeiro termo será igual a 2π , e temos uma oscilação completa. A equação 1 é comumente escrita como: $y(x, t) = A \sin(kx + \delta)$ (2), onde k é o chamado de número da onda, sendo $k = 2\pi/\lambda$.

Segundo COELHO (1992), um movimento ondulatório (MO) é formado por um movimento harmônico simples (MHS) e um movimento retilíneo uniforme (MRU), ou seja: $MO = MHS + MRU$ (3).

Assim, uma onda, que também apresenta características de um movimento harmônico simples, é uma perturbação oscilante, caracterizada pelo comprimento de onda λ e o período de oscilação T , grandezas que estão relacionadas pela velocidade de propagação da onda. Os autores Halliday, Resnick e Walker (2009) dizem:

Para descrever perfeitamente uma onda em uma corda (e o movimento de qualquer elemento da corda), precisamos de uma função que forneça a forma da onda. Isso significa que necessitamos de uma relação da forma $y = h(x, t)$, onde y é o deslocamento transversal de um elemento da corda e h é uma função do tempo t e da posição x do elemento da corda. Toda a forma senoidal[...] pode ser descrita tomando $h(x, t)$ como uma função seno ou uma função cosseno; ambas fornecem a mesma forma para a onda (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p. 118).

Desta forma, a função de uma onda é uma função de duas variáveis: $y(x, t) = A \cos\left(kx - \frac{2\pi}{T}t + \delta\right)$ (4).

Assim como no caso anterior (equação 1 e 2), a função \cos completa uma oscilação completa em 2π , assim, quando o tempo t for igual ao período T , este segundo termo será igual a 2π , e temos uma oscilação completa dependente do tempo. O termo δ é constante de fase ou ângulo de fase, comumente não usado. A equação 4 é escrita frequentemente como: $y(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \delta)$ (5), onde t é o tempo em segundos e ω é a frequência angular. Sendo $\omega = 2\pi/T$. A relação entre a frequência angular ω e a frequência f é dada por: $f = \frac{\omega}{2\pi}$ (6).

A frequência f é dada em $1/s$, também chamada de Hz (Hertz). Por sua vez, a relação entre a frequência f e o período de uma oscilação T é: $T = \frac{1}{f}$ (7).

As equações aqui tratadas podem ser utilizadas para ondas mecânicas ou ondas eletromagnéticas.

As ondas mecânicas são as mais familiares porque as encontramos constantemente. Entre elas estão as ondas do mar, as ondas sonoras e as ondas sísmicas. Todas essas ondas possuem duas características: são governadas pelas leis de Newton e apenas existem em um meio material, como água, o ar ou as rochas.

E as ondas eletromagnéticas podem ser menos familiares, mas são muito importantes no dia-a-dia. Exemplos: a luz visível, a luz ultravioleta, as ondas de rádio e as de televisão, as micro-ondas, os raios X e as ondas de radar. Estas ondas eletromagnéticas não precisam de um meio material para existir. As ondas luminosas provenientes das estrelas, por exemplo, atravessam o vácuo do espaço para chegar até nós. Todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a mesma velocidade: $c = 299792458 \frac{m}{s}$ (8).

2.1.1 INTERFERÊNCIA DE ONDAS E ONDAS ESTACIONÁRIAS

Problemas de interferência de ondas tratam da superposição de duas ou mais ondas (COLUCCI; MURA; MELO, 2009). Considerando duas ondas senoidais que se propagam no mesmo sentido, com o mesmo comprimento de onda, mas diferem na fase. As expressões individuais são: $y_I(x) = A \cos(2\pi x/\lambda)$ (9) e $y_{II}(x) = A \cos(2\pi x/\lambda + \delta)$ (10), onde δ é uma constante de fase. A função da onda resultante da superposição das duas ondas acima pode ser escrita como: $y(x) = y_I(x) + y_{II}(x)$ (11), $y(x) = A \cos(2\pi x/\lambda) + A \cos(2\pi x/\lambda + \delta)$ (12), $y(x) = A[\cos(2\pi x/\lambda) + \cos(2\pi x/\lambda + \delta)]$ (13).

Usando a identidade trigonométrica: $\cos a + \cos b = 2 \cos\left(\frac{a-b}{2}\right) \cos\left(\frac{a+b}{2}\right)$ (14) e fazendo $a = 2\pi x/\lambda$ e $b = 2\pi x/\lambda + \delta$, a função da onda resultante é: $y(x) = 2A \cos\left(\frac{2\pi x/\lambda - 2\pi x/\lambda + \delta}{2}\right) \cos\left(\frac{2\pi x/\lambda + 2\pi x/\lambda + \delta}{2}\right)$ (15), $y(x) = 2A \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \cos\left(2\pi x/\lambda + \frac{\delta}{2}\right)$ (16).

O termo $2A\cos(\delta/2)$ da equação 16 não depende da posição x , enquanto que o termo $\cos(2\pi x/\lambda + \delta/2)$ depende de x e permanece igual a $2\pi x/\lambda$ das duas ondas iniciais. Assim, a superposição das duas ondas não modifica o comprimento de onda. A amplitude da onda resultante é $2A\cos(\delta/2)$ e depende só da fase δ .

Se a fase δ for igual a zero, $\cos(0) = 1$ e a amplitude da onda será o dobro da amplitude de cada uma das ondas, isto é $2A$. Neste caso, os máximos das ondas coincidem e temos uma interferência construtiva, conforme mostrado na Figura 3. Esta situação se repete quando a fase δ for igual a $2\pi, 4\pi, 6\pi, \dots$

Para $\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$ então $\cos(\delta/2) = 0$, e a amplitude da onda resultante é nula. Neste caso, o máximo de uma onda coincide com o mínimo da outra e temos uma interferência destrutiva (Figura 3).

Para valores diferentes de fase dos anteriores a amplitude deve diminuir da amplitude $2A$ do caso da fase δ for igual a $0, 2\pi, 4\pi, 6\pi, \dots$

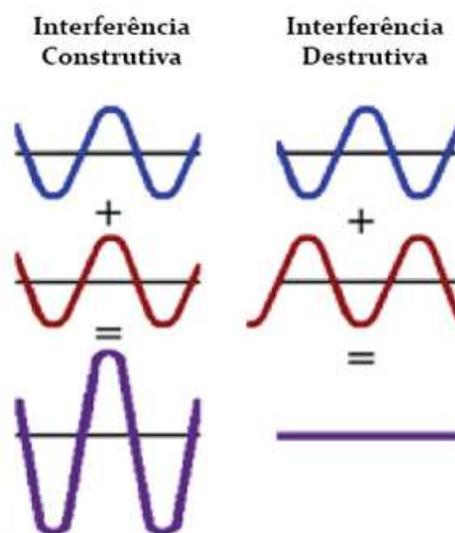


Figura 3: Oscilações de ondas (APRH, 2007)

Em alguns casos pode-se observar uma onda estacionária, que é uma onda que oscila no tempo, mas cuja posição dos picos não se move no espaço. Assim, o perfil da amplitude das oscilações de onda em qualquer ponto no espaço é constante com o tempo. Porque resulta de que todas as ondas estão em fase. As posições nos quais a amplitude é mínima são chamadas “nós ou nodos”, e as posições onde a amplitude é máxima são chamadas “antinodos”.

Em 1831, Michael Faraday observou as ondas estacionárias na superfície de um líquido em um recipiente vibratório. Mas foi Franz Emil Melde, que em 1860 no artigo intitulado “Sobre a excitação de ondas estacionárias de um corpo filamentososo” (tradução nossa), que nomeou com o termo “ondas estacionárias”, no alemão *stehendewelle*, e demonstrou o fenômeno em seu clássico experimento com cordas vibrantes.

Tente esticar um fio fino, e observa como as vibrações do sino se espalharam sobre o fio, quando o mesmo no meio entre os pontos, sobre o qual o fio foi esticado, com o arco de violino. O fio não mostrou nenhum movimento visível, mas apenas um tremor, que se manifestou pelo sentido quando tocado com o dedo. O fio estava bastante tenso, mas à medida que gradualmente reduzia sua tensão, percebi imediatamente como ele havia entrado em um movimento de onda estacionário. A tensão foi ainda mais reduzida, com a consequência de que o fio em seu movimento mostrava mais e mais nós vibracionais. Quando as pontas do fio estavam coladas ao lacre, aliviei sua tensão acariciando-a com o dedo e pressionando-a para baixo (MELDE, 1860, tradução nossa).

Este experimento ainda é usado nos laboratórios didáticos de física com algumas modificações.

2.1.2 ONDA ELETROMAGNÉTICA

Em 1865, James Clerk Maxwell descreveu todo o eletromagnetismo comum em um conjunto de 4 equações, que são hoje denominadas como as Equações de Maxwell, como pode ser visto na Tabela 1:

Tabela 1: Equações de Maxwell microscópicas - formulação em termos de carga e correntes totais

Nome	Forma diferencial	Forma integral
Lei de Gauss	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ (17)	$\oiint_{\partial V} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{Q(V)}{\epsilon_0}$ (18)
Lei de Gauss para o magnetismo	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ (19)	$\oiint_{\partial V} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$ (20)
Lei de Faraday da indução	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ (21)	$\oint_{\partial S} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{\partial \Phi_{B,S}}{\partial t}$ (22)
Lei de Ampère (com a correção de Maxwell)	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ (23)	$\oint_{\partial S} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I_S + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \Phi_{E,S}}{\partial t}$ (24)

Elas são equações que descrevem as relações entre os campos elétricos, magnéticos e as distribuições das cargas elétricas e das correntes. A partir das equações 17 a 24, Maxwell conclui ainda que:

A concordância dos resultados parece mostrar que a luz e o magnetismo são afetos da mesma substância, e que a luz é um distúrbio eletromagnético propagado através do campo de acordo com as leis eletromagnéticas (MAXWELL, 1865, tradução nossa).

Maxwell (1865) mostrou que a descrição das ondas eletromagnéticas pode ser entendida a partir do conjunto das equações. Deu-se então, a unificação do eletromagnetismo com a óptica. A dedução de Maxwell levou a um modelo de campos magnéticos e elétricos que oscilam perpendicularmente a direção de propagação, conforme mostrado na Figura 4.

As ondas eletromagnéticas são, portanto, uma forma de energia que é transmitida através do espaço a velocidade de cerca de $300.000.000 \text{ m/s}$, que, em contraste com as ondas sonoras, não requer nenhum meio material para a sua transmissão. Nesse caso, o vácuo não impede a propagação de energia e informação. A radiação eletromagnética pode ser descrita como uma onda com comprimento de onda, frequência, velocidade e amplitude. No entanto, o modelo de onda fracassa ao considerar os fenômenos relacionados principalmente com a absorção e emissão de energia radiante, pois nesses processos utiliza-se o modelo de partícula. Na dualidade, a luz pode ser tratada como pacotes discretos de energia ou partículas chamadas fótons ou quanta. A perspectiva da radiação como partículas e como ondas são complementares, já que a energia de um fóton é diretamente proporcional à sua frequência. E, ainda, há os fenômenos como a reflexão, refração, interferência e difração, que são pertinentes a natureza das ondas eletromagnéticas.

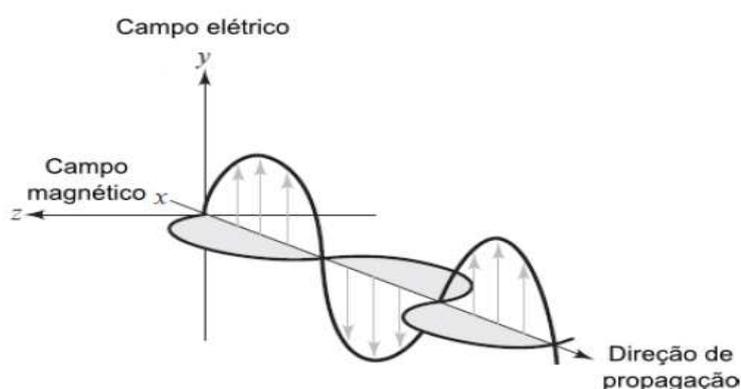


Figura 4: Ondas eletromagnéticas (SKOOG, 2006)

O espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou frequência. A luz visível é uma região bem pequena de todo o espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético pode ser dividido ainda em regiões como, raios γ , raios χ , ultravioleta/visível e infravermelho e outros, conforme mostra a Figura 5. Estes conceitos físicos são necessários para o desenvolvimento, assimilação e compreensão da teoria relacionada com a prática nos estudos sobre a natureza da luz até a óptica moderna.

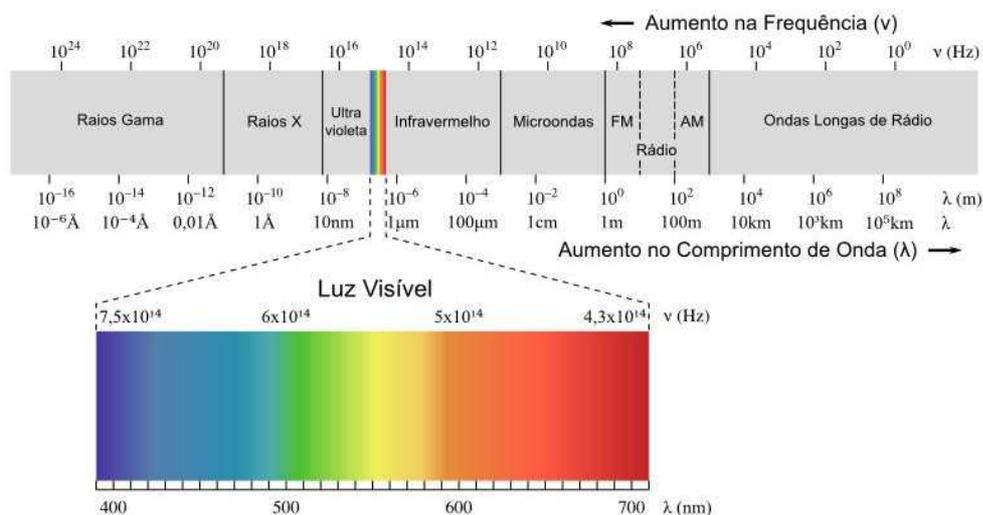


Figura 5: Espectro visível (THINGLINK, 2015)

2.1.3 ESPECTRO VISÍVEL

Sabemos que o arco-íris representa a decomposição da luz visível, mas foi Isaac Newton (1643-1727) que, no século XVII, pela primeira vez descreveu de forma adequada o fenômeno da decomposição da luz por um prisma, assim como sua recomposição, descrito na Figura 6.

A luz do sol brilhando em uma câmara escura através de um pequeno buraco redondo (F) em uma janela, e sua luz sendo refratada por um prisma e projetando sua imagem colorida PT. Então, o papel (na posição PT) é iluminado com luzes de várias cores, a saber, vermelho, amarelo, verde, azul e violeta. Deixe que o espectro ou imagem solar PT incida agora sobre a lente MN acima de quatro polegadas de largura, e cerca de seis pés distante do prisma ABC e assim ver o que pode causar com a luz colorida que diverge do prisma se convergir e reencontre-se em seu foco G, a cerca de seis ou oito pés de distância da lente, e aí incida perpendicularmente a um papel branco até que finalmente no papel chegue ao foco G, onde, por meio da mistura perfeita, eles (várias cores) desaparecerão completamente e serão convertidos em branco, toda a luz aparece agora sobre o papel como um pequeno círculo branco (NEWTON, 1704, p. 134-136, tradução nossa).

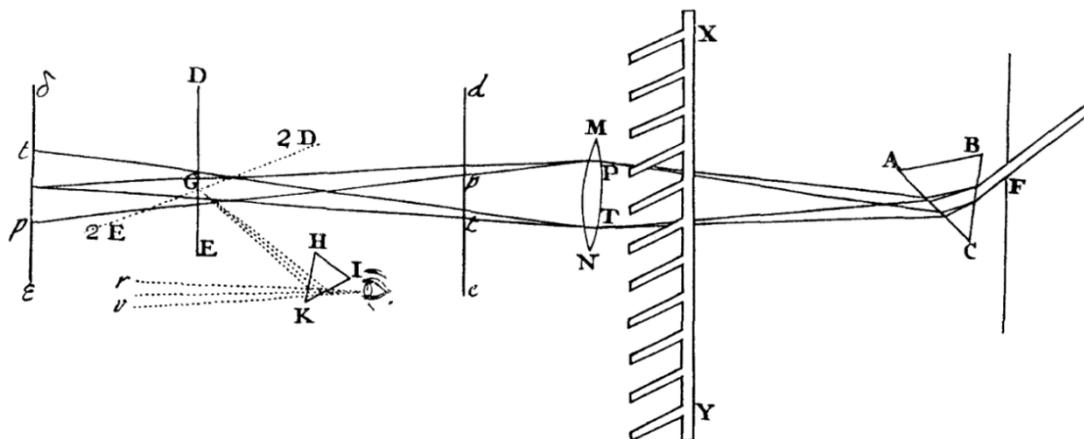


Figura 6: Decomposição através do prisma ABC da luz branca F e composição através da lente MN no ponto G (NEWTON, 1704)

Como descrito por Newton (1704), a decomposição da luz solar visível ao olho humano produzida por um prisma varia desde o vermelho até o violeta. A luz visível é, portanto, a faixa do espectro eletromagnético que é visível para o olho humano. Esta faixa baseia-se na radiação do corpo negro ou transições eletrônicas intra-atômicas ou moleculares (TREVISAN, 2006). A radiação eletromagnética nesta faixa de comprimentos de onda é chamada de luz visível ou simplesmente de luz. Um olho humano típico responderá a comprimentos de onda λ de cerca de 390 a 700×10^{-9} Hz. Isso corresponde a uma faixa de frequência ν na proximidade de $430 - 770 \times 10^9$ Hz, conforme visto na Figura 7.

O espectro, no entanto, não contém todas as cores que os olhos humanos e o cérebro podem distinguir. As cores não saturadas, como as variações rosa ou roxas, como a magenta estão ausentes, por exemplo, porque elas podem ser feitas por uma combinação de múltiplos comprimentos de onda. As cores que contêm apenas um comprimento de onda também são chamadas de cores puras ou cores espectrais.

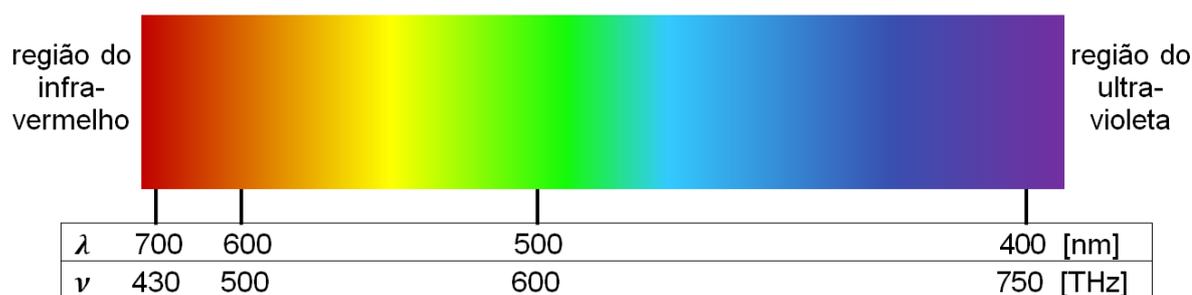


Figura 7: Espectro visível da luz em função do comprimento de onda λ e da frequência ν (CORDELLA, 2009)

2.1.4 VELOCIDADE DA LUZ, REFLEXÃO E REFRAÇÃO

A velocidade de propagação da luz no vácuo é de cerca de $300.000.000 \text{ m/s}$. Entretanto, em um meio material, a velocidade de propagação da luz depende do meio e da frequência. No ar atmosférico, a velocidade é quase igual ao valor da luz no vácuo. Na água, o valor é de cerca de 25% menor que do vácuo. Alguns vidros apresentam valores de velocidade duas vezes menores que a velocidade da luz no vácuo. A relação entre a velocidade da luz no vácuo $c = 300.000.000 \text{ m/s}$ e a velocidade da luz v no meio é dada pelo índice de refração n , assim, $n = \frac{c}{v}$ (25).

A Tabela 2 mostra alguns valores de velocidades de propagação da luz v em diferentes meios e os correspondentes índices de refração n (equação 25).

Tabela 2: Valores de velocidade de propagação de luz e os respectivos valores de índice de refração¹

Meio	Velocidade no meio v	Índice de refração n
Vácuo	300.000.000 m/s	1
Ar	299.910.027 m/s	1,0003
Água	225.208.318 m/s	1,3321
Vidro	214.285.714 - 157.894.737 m/s	1,4000-1,9000
Acrílico	201.342.282 m/s	1,4900
Diamante	123.966.942 m/s	2,4200
Pedra de rutilo	107.142.857 m/s	2,8000

A reflexão e a refração ocorrem quando a luz incide sobre uma interface que separa dois meios com diferentes índices de refração, isto é, onde ela se propaga com uma velocidade diferente do outro meio (Figura 8). Este processo gera ondas que são refletidas para o meio de origem, mas parte da onda é transmitida pelo outro meio. Na transmissão, diz-se que a luz foi refratada ou sofreu uma refração. No caso da reflexão, temos o ângulo de incidência (NEWTON, 1704, p. 5), assim, $\theta'_1 = \theta_1$ (26).

As fibras óticas se fundamentam no processo de reflexão, onde o feixe de luz sofre inúmeras reflexões e fica confinado dentro da fibra. O processo de reflexão

¹ Fonte: Wikipédia (2018)

também é observado em uma superfície metálica polida. Assim, a reflexão é importante para o estudo dos espelhos, tanto os planos como côncavos e convexos. Os espelhos côncavos são comumente usados em certos modelos de telescópios, projetores e também são empregados pelos dentistas. Os espelhos convexos são rotineiramente utilizados para “ampliar” a visão e são usados frequentemente em farmácias, corredores de supermercados, retrovisores de veículos e saídas de estacionamentos.

No caso da refração, quando um raio de luz passa de um meio para outro meio, com diferentes índices de refração n , o ângulo de incidência θ_1 é diferente do ângulo θ_2 de do raio difratado (NEWTON, 1704, p. 5). A relação é determinada pela Lei de Snell: $n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2$ (27).

A refração modifica a velocidade de propagação e o comprimento de onda, mantendo a mesma frequência, que não se altera de um meio para outro.

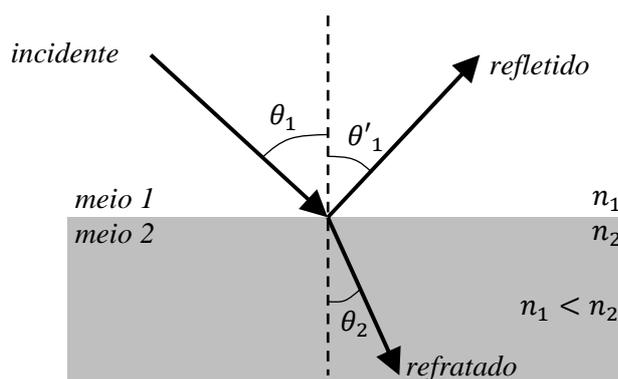


Figura 8: Processo de reflexão e refração entre dois meios de diferentes índices de refração

Em princípio, as lentes convexas e côncavas e suas associações podem ser totalmente explicadas com a ajuda da lei da refração (equação 26). As lentes convexas possuem as extremidades (bordas) mais finas que a parte central e possuem a propriedade de convergir os raios de luz. As lentes côncavas têm a parte central mais fina que as extremidades (bordas) e possuem a capacidade de divergir os raios de luz. As câmeras, o olho humano, telescópios, lentes de aumento, óculos e microscópios são alguns exemplos de aplicações do dia-a-dia de lentes.

2.1.5 DIFRAÇÃO DA LUZ

Em novembro de 1802, Thomas Young apresentou artigo "Sobre a Teoria da Luz e das Cores", no qual descreveu:

Proposição VIII: quando duas ondulações, de origens diferentes, coincidirem perfeitamente ou quase na direção, seu efeito é uma combinação dos movimentos pertencentes a cada uma (YOUNG, 1802, p34).

Dois anos após, Young realizou a experiência de dupla fenda (SCHEIDER, 1986). Quando uma onda monocromática é difratada por duas fendas, o padrão em um anteparo é uma mistura de interferências construtivas e destrutivas (JARDIM; BARROS, 1999). Usando o princípio de Huygens, em que cada ponto de uma frente de onda possui a funcionalidade de uma nova fonte pontual, as fendas funcionam com uma fonte pontual de luz. O comprimento de onda λ e a diferença entre o caminho Δd , mostrado na Figura 9, determina interferência construtiva em determinado ângulo, que obedece a seguinte relação: $n\lambda = L \text{sen}\theta$ (28), onde L é a distância entre as duas fendas e $n = 1,2,3, \dots$. Para três ou mais fendas, que é o caso da grade de difração, a relação anterior é mesma.

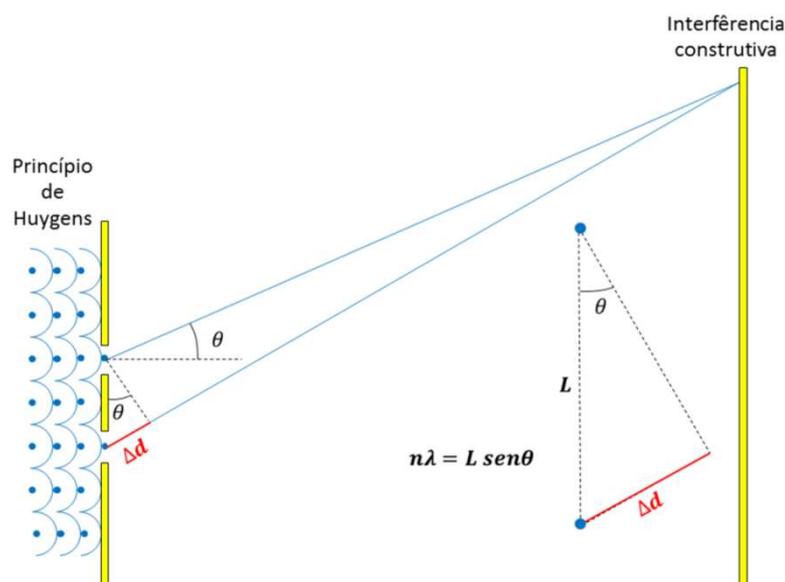


Figura 9: Experimento de duas fendas de Young (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)

2.1.6 REDES DE DIFRAÇÃO

A grade de difração é um componente óptico que contém uma série de fendas, paralelas e muito próximas entre si, como uma série de fendas. A difração em uma grade de difração pode ser explicada usando a experiência da dupla fenda de Thomas Young. Quando aumentamos gradualmente o número de fendas de 2 para um número grande N , a intensidade aumenta por conta da interferência sofrida

de novas ondas geradas a partir das outras fendas (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p. 126).

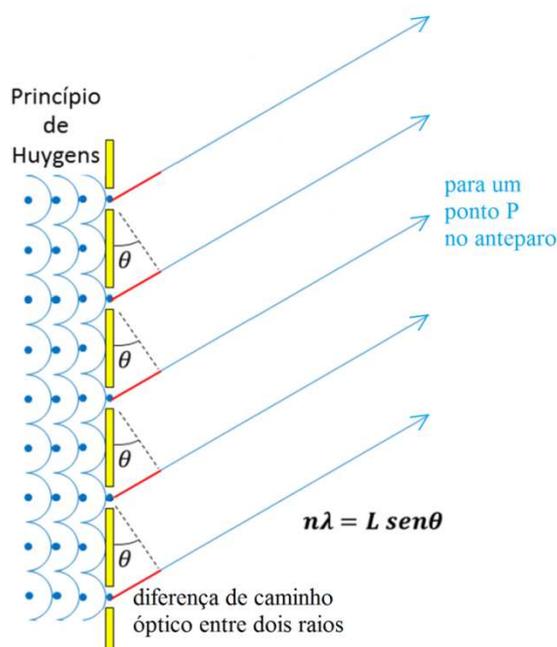


Figura 10: Grade de difração(HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)

A diferença entre as distâncias percorridas por raios vizinhos é $L \text{ sen}\theta$ (Figura 10), onde θ é o ângulo entre o eixo central da rede (reta que liga o centro da rede ao centro da Figura 10) e a reta que liga a rede ao ponto P. Haverá uma interferência construtiva no ponto P se a diferença entre as distâncias percorridas por raios vizinhos for igual a um número inteiro de comprimentos de onda λ , ou seja, se $L \text{ sen}\theta = n\lambda$ (29), onde $n = 0, 1, 2, \dots$ e λ é o comprimento de onda da luz (idêntico a equação 28). A cada número inteiro n , exceto $n = 0$, correspondem duas linhas diferentes, simetricamente dispostas em relação à linha central. Assim, as linhas podem ser rotuladas de acordo com o valor de n .

Uma rede de difração consiste normalmente em um material óptico (vidro ou plástico), onde as linhas paralelas na superfície (da ordem de 1000 linhas/mm) são feitas normalmente, mecanicamente ou quimicamente através de processos fotográficos. A qualidade e o espaçamento das linhas são fatores decisivos para a performance das redes de difração. Um CD ou DVD também podem ser empregados como rede de difração, por conterem bastantes linhas por milímetro (um CD contém por volta de 700 linhas/mm e um DVD 1500 linhas/mm).

2.1.7 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Corpo negro é um sistema ideal, que absorve 100% da radiação incidente sobre ele, refletindo 0% dela e emite um espectro contínuo de radiação cujo comprimento de onda da intensidade máxima só depende da temperatura. Uma boa aproximação de um corpo negro é o interior de um corpo oco com um orifício, sendo, portanto, a radiação independente do tamanho, do material e da forma da cavidade do corpo negro estudado. A radiação térmica que vem do exterior e incide sobre o orifício é refletida nas paredes internas da cavidade e, eventualmente, por elas absorvida. Como a área do orifício é muito menor do que a área interna da cavidade, a quantidade de radiação que pode ser refletida para fora da cavidade é desprezível. Portanto, esse corpo apresenta as propriedades de um corpo negro, uma vez que absorve toda radiação que incide em sua superfície, emitido pelo orifício um espectro contínuo que depende somente da temperatura do corpo negro, conforme visto na Figura 11.

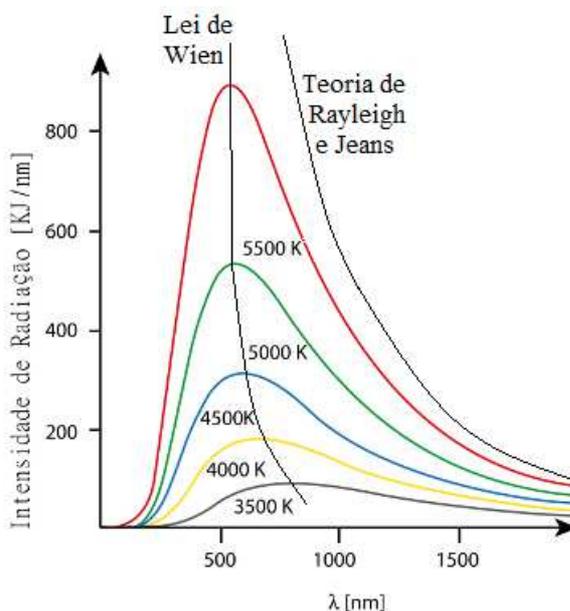


Figura 11: Radiação de corpo negro (as cores dos espectros correspondem a diferentes temperaturas)(UOL, 2018)

A Figura 11 mostra o deslocamento dos picos de emissão do corpo negro. A lei de Wien diz que o produto da temperatura pelo comprimento de onda máximo se mantém constante com valor $2,898 \times 10^{-3} m.K$. Isto é, que a temperatura é inversamente proporcional ao comprimento de onda máximo.

Rayleigh e Jeans formularam uma teoria na tentativa de explicar os espectros experimentais de emissão do corpo negro usando um oscilador harmônico linear de frequência própria f . Entretanto, o resultado dos cálculos mostra que o aumento da frequência f implica em aumento da energia radiante ($\varepsilon_R \propto f^2$), o que não é observado experimentalmente (Figura 11). Esta incoerência ficou conhecida como catástrofe do ultravioleta (STRINGASCI, 2011).

Para solucionar esta catástrofe, Planck(1900) postulou que a energia emitida por cada oscilador harmônico, usados na teoria por Rayleigh e Jeans(1905), se desse em pacotes de energia. A energia de cada pacote ε era igual ao múltiplo inteiro de um dado valor mínimo de energia ε_0 , isto é, $\varepsilon = n\varepsilon_0$, sendo n um número inteiro, $n = 1,2,3,\dots$. Matematicamente, isto significa substituir a soma contínua na equação de Rayleigh-Jeans por uma soma discreta.

Resumindo, a emissão de luz em função da temperatura é vista na Figura 11. Uma das aplicações do dia-a-dia é na escolha da cor das lâmpadas. Uma lâmpada de temperatura de cor de 2700 K tem tonalidade mais avermelhada, enquanto que uma de 7000 K tem tonalidade mais azulada. O ideal em uma residência é variar entre 2700 K e 5000 K.

2.1.8 TRANSIÇÃO ELETRÔNICA – MODELO DE BOHR

Segundo Bohr, o átomo teria uma eletrosfera composta de camadas energéticas (estados estacionários), que conteriam apenas os elétrons que tivessem a energia respectiva de cada nível. Isso significa que só seriam permitidas algumas órbitas circulares ao elétron, sendo que em cada uma dessas órbitas o elétron apresenta energia constante. Segundo Parente, Santos e Tort (2013),

O equilíbrio dinâmico dos sistemas atômicos nos estados estacionários é governado pelas leis da mecânica clássica, mas as transições entre os diferentes estados estacionários não podem ser tratadas desta maneira. As transições entre os diferentes estados estacionários são acompanhadas de emissão de radiação eletromagnética de frequência bem definida, para a qual a relação entre a frequência e a energia emitida é aquela dada pela teoria de Planck (PARENTE; SANTOS; TORT, 2013, p. 3).

Assim, para tirar um elétron de uma camada inferior para outra superior é preciso que esse elétron absorva uma energia que seja maior que a diferença de

energia entre as camadas. Neste caso o elétron está em um estado excitado. Se a energia não for suficiente, ela não é absorvida e não há um salto de uma camada inferior para uma superior. Esta energia pode ser provida por uma onda eletromagnética.

No entanto, o estado excitado é instável, portanto, os elétrons que “saltaram” de nível retornam para sua órbita inferior e seu estado estacionário original. Neste momento o elétron perde em forma de onda eletromagnética energia, que é a luz, esta quantidade de energia corresponde à diferença de energia existente entre as órbitas envolvidas no momento do elétron, eletronicamente (a equação 30 mostra isto e será discutida posteriormente).

Como cada elemento da tabela periódica apresenta diferentes valores de camadas energéticas (estados estacionários), a luz emitida por cada um dos elementos será em comprimentos de onda bem característico. Mudanças na valência dos átomos influenciam diretamente as camadas energéticas e também na emissão. Óxido de ferro pode ter cor avermelhada, enquanto que óxido de níquel pode ser verde.

2.2 LED (LIGHT EMITTING DIODE)

A sigla LED vem do inglês *Light Emitting Diode* e se refere a dispositivos emissores de luz. O espectrômetro montado neste trabalho utiliza um LED para iluminação das amostras. Para entender o seu funcionamento, seria necessária uma abordagem profunda sobre as ligações químicas, a Teoria de Bandas, bem como os processos de condução elétrica, semicondutores. Aqui é apresentada uma abordagem mais básica.

O LED é constituído de uma junção de dois materiais, um denominado de P, que contém buracos P (falta de elétrons) e outro que contém cargas negativas (excesso de elétrons n) (SILVA et al., 2014; SANTOS; MENEZES; SANTANA, 2015). Quando a junção P-N é submetida a uma diferença de potencial correta, os elétrons e os buracos se movimentam em direção à junção. Assim, a combinação entre estes elementos resulta na emissão de fótons, como é visto na Figura 12.

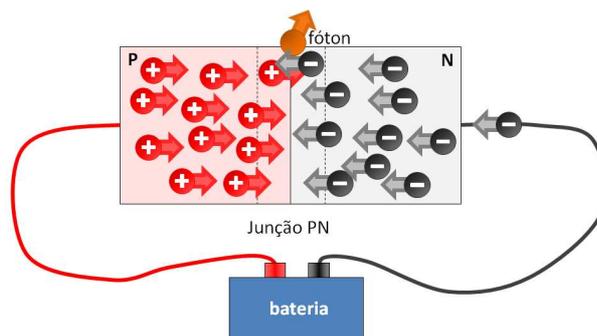


Figura 12: Processo de emissão de luz por um LED

Quando comparados com as lâmpadas convencionais, o LED apresenta algumas vantagens, por exemplo, alto brilho e intensidade, elevada eficiência, acendimento instantâneo, robustez física, elevada vida útil, são compactos e, finalmente, operação em baixa tensão e corrente, permitindo, assim, o uso das tensões do direto do conector USB do computador, como foi usado neste trabalho.

Os diodos emissores de luzes brancas são geralmente LEDs totalmente azuis de nitreto de gálio e índio (InGaN) com um revestimento na parte superior de um material adequado (CHO et al., 2017). O revestimento usado com frequência é o óxido granada de Ítrio e Alumínio (YAG) dopado com cério (fórmula $Ce^{3+}:Y_3Al_5O_{12}$ ou simplesmente $Ce^{3+}:YAG$). Este revestimento absorve a luz do LED azul e emite uma ampla gama de luz do esverdeado ao avermelhado (Figura 1), com a maior parte da emissão em amarelo. Esta emissão amarela, combinada com a emissão azul, resultará na luz "branca". A luz mais amarelada é o branco quente e a luz mais azulada o branco frio. Assim, a temperatura da cor é designada por este ajuste entre a quantidade do amarelo e o azul. A emissão de amarelo pálido do $Ce^{3+}:YAG$ pode ser ajustada substituindo o cério por outros elementos de terras raras, como térbio e gadolínio, podendo ainda ser ajustada por substituição de gálio em parte ou a totalidade do alumínio no YAG. No entanto, este processo não é uma fosforescência. A luz amarela é produzida por um processo conhecido como cintilação, sendo a ausência completa de uma pós-iluminação uma das características do processo.

Descreve-se como a escolha do material semicondutor que determina o comprimento de onda dos fótons de luz emitidos pelos LEDs, que, por conseguinte, resulta em sua cor. Compostos diferentes emitem luzes em regiões específicas do espectro de luz visível. Observa-se na Tabela 3 que conforme diminui o comprimento de onda aumenta a tensão V necessária para acender o LED.

Tabela 3: Tipos de LED²

Material semicondutor	Banda de comprimento de onda cor	V (tensão de corte)
GaAs(arseneto de gálio)	850-940 nm Infra Vermelha	1,2 V
GaAsP (fosfeto de arsênio gálio)	630-660 nm Vermelha	1,8 V
GaAsP (fosfeto de arsênio gálio)	605-620 nm Âmbar	2,0 V
GaAsP: N(fosfeto de arsênio gálio, dopado com nitrogênio)	585-595 nm Amarela	2,2 V
AlGaP (fosfeto de gálio e alumínio)	550-570 nm Verde	3,5 V
SiC (carbeto de silício)	430-505 nm Azul	3,6 V
GaInN (nitreto de índio gálio)	450 nm Branca	4,0 V

2.3 ESPECTROSCOPIA ÓPTICA

Como visto anteriormente, a decomposição da luz visível produzida por um prisma é conhecido como espectro e varia desde o vermelho até o violeta. Um espectrômetro ótico, ou simplesmente espectrômetro, mostra a intensidade da luz em função do comprimento de onda λ ou da frequência ν . A refração em um prisma, ou difração em uma grade de difração, é usada para separar os diferentes comprimentos de onda ou as frequências.

Nos anos iniciais do século XIX, descobriu-se que o espectro solar também apresenta radiações invisíveis ao olho humano. Em 1800, o astrônomo alemão-inglês William Herschel, colocou o bulbo de um termômetro em cada uma das regiões coloridas do espectro solar (HERSCHEL, 1800). Ele observou que a temperatura do mercúrio aumentava com a incidência da luz e este era mais rápido quanto mais próximo da extremidade vermelha e que tinha um pico depois da extremidade do espectro visível (Figura 13).

²Fonte: Eletrônica PT (2018)

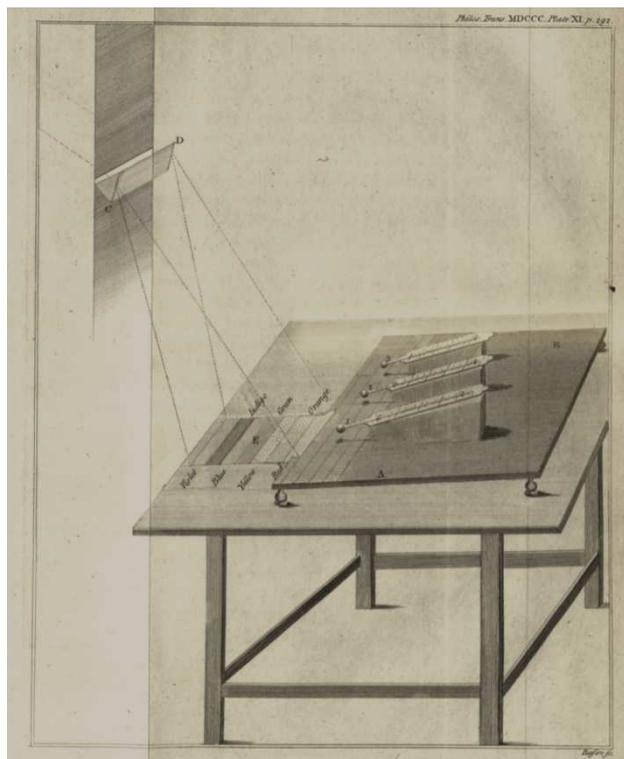


Figura 13: Medida do infravermelho por William Herschel em 1800

Em 1801, o alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) pôs uma amostra de sal de prata na região escura além do violeta. Johann verificou que a reação de redução da prata se dava com mais facilidade ainda (FILGUEIRAS, 1996). A conclusão destes experimentos é que a luz contém componentes invisíveis ao olho humano. A ultravioleta, de menor comprimento de onda que o violeta, e o infravermelho com maior comprimento de onda.

O químico Britânico William Hyde Wollaston (1766-1828) descobriu que se trabalhasse com um feixe de luz muito estreito, oriundo de uma fenda de 0,01mm, o espectro da luz solar, assim obtido, apresentava sete linhas negras superpostas às cores brilhantes. Mais tarde, o físico Gustav Robert Kirchhoff em percebeu que duas linhas escuras do espectro solar coincidiam com as duas linhas amarelas do espectro do sódio. Porém, quando se passava uma luz branca contínua através da chama de sódio, o resultado obtido, após atravessar o prisma, era um espectro contínuo com as cores do arco-íris, contendo duas linhas negras, na mesma posição do espectro de emissão do sódio. Kirchhoff chegou à conclusão então que deveria haver sódio na atmosfera solar que absorve estas linhas do espectro. “Assim, a luz que chega à Terra consiste no espectro contínuo subtraído dos componentes absorvidos na atmosfera do Sol” (FILGUEIRAS, 1996, p. 24).

Em poucos anos, a espectroscopia permitiu também a descoberta de inúmeros elementos químicos. Entretanto, havia um problema sem solução. O que

representavam os valores de energias correspondentes às emissões e absorções discretas? E por que os espectros eram discretos, isto é, por que apresentavam picos em somente em determinados comprimentos de onda?

Johann Jakob Balmer, um físico matemático suíço, propôs em 1885 uma fórmula empírica que expressa a relação para as linhas espectrais do átomo de hidrogênio, na região do visível. A equação foi estendida para o infravermelho e ultra violeta pelo físico sueco Johannes Robert Rydberg: $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$ (30), onde λ é o comprimento de onda da radiação eletromagnética, R é a constante de Rydberg $R = 1,0973 \times 10^7 m^{-1}$, n são números inteiros ($n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots$). O espectro visível é explicado para $n_f = 2$ e $n_i = 3$. O modelo atômico de Rutherford-Bohr veio comprovar este modelo.

2.3.1 A LEI DE LAMBERT-BEER

Se um feixe de luz atravessa uma solução líquida semi transparente, as moléculas e íons presentes são capazes de absorver fótons e são então promovidos do estado fundamental para um estado excitado mais energético (GOMES et al., 2008). A quantidade de energia absorvida é proporcional à concentração das moléculas e íons na solução, possibilitando a quantificação da solução. A razão entre a potência do feixe após atravessar a solução P e a potência do feixe de radiação incidente P_0 é chamada de Transmitância T ($T = P/P_0$). Absorbância $A(\lambda)$ é dada por: $A(\lambda) = -\log T = \varepsilon(\lambda)bc$ (31).

A equação 31 é denominada de a Lei de Lambert-Beer, sendo, b é simplesmente a espessura da amostra, c é a concentração da espécie química absorvedora e $\varepsilon(\lambda)$ é um coeficiente de extinção. A lei Lambert-Beer constitui, assim, a base matemática-física das medidas de absorção de luz em gases e soluções líquidas na região ultra violeta, visível e infravermelho (PERKAMPUS, 1992).

O coeficiente de extinção $\varepsilon(\lambda)$, é uma quantidade característica da substância que também depende do comprimento de onda λ . Assim, a absorbância $A(\lambda)$ também depende do comprimento de onda. A correlação entre $\varepsilon(\lambda)$ e o comprimento de onda λ é chamada de "espectro de absorção" de um determinado composto.

Vale a pena lembrar que a lei de Lambert-Beer (equação 31) é uma lei limitada para soluções diluídas, ou seja, a afirmativa de que $\varepsilon(\lambda)$ não é dependente da concentração de uma substância para um determinado comprimento de onda

λ aplica-se apenas a soluções diluídas. O coeficiente de extinção $\varepsilon(\lambda)$ não é mais constante para soluções concentradas, mas depende ainda do índice de refração da solução.

2.3 TEORIAS DE APRENDIZAGEM

Segundo David Paul Ausubel (1918-2008), a aprendizagem significativa no processo de ensino precisa fazer sentido para o aluno. Dentro desse processo de aprendizagem, a nova informação deverá interagir e ancorar-se nos conhecimentos prévios que o aluno possui (MOREIRA, 1999). Este conhecimento prévio é definido como conceito subsunçor. Assim,

A aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se, de maneira substantiva (não-litera) e não-arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo (MOREIRA, 1999, p. 7).

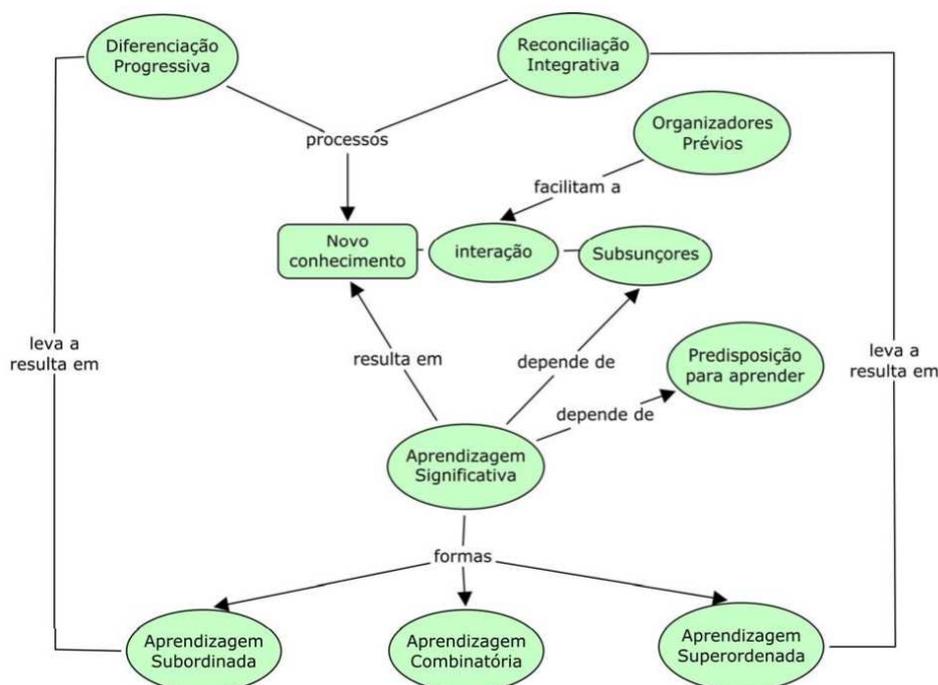


Figura 14: Alguns conceitos básicos da teoria de Ausubel representado por meio de um mapa conceitual (MOREIRA, 1998)

Pode-se observar pela Figura 14 que a aprendizagem significativa não é um processo simples. Esta tem lugar quando as novas ideias vão se relacionando de forma não-arbitrária e substantiva com as ideias já existentes. Por “não-arbitrariedade” entende-se que existe uma relação lógica e explícita entre a nova ideia e alguma(s) outra(s) já existente(s) na estrutura cognitiva do indivíduo. Assim,

por exemplo, entender o conceito do termômetro só será de fato significativo para o indivíduo se, de alguma forma, houver uma clara relação entre este e o conceito de temperatura.

Para ser significativa, a aprendizagem necessita ser também substantiva, ou seja, uma vez aprendido determinado conteúdo, o indivíduo é apto a explicá-lo com as suas próprias palavras. Portanto, um mesmo conceito pode ser expresso em linguagem sinônima e transmitir o mesmo significado (ARAGÃO, 1976).

Como pode ser visto na Figura 14, existem três formas de aprendizagem significativas, que são: subordinada, super ordenada e combinatória (MOREIRA, 2013).

A forma de **aprendizagem subordinada** é aquela no qual um novo conhecimento se subordina a certo conhecimento já existente na estrutura cognitiva com alguma estabilidade e nitidez, isto é, o novo se “ancora” em um antigo.

Devido à estrutura cognitiva ser dinâmica, hierárquica e sempre buscando a organização, a forma de **aprendizagem superordenada** acontece em um novo conhecimento passa a ser hierarquicamente superior a outros, isto é, produz uma nova organização cognitiva de modo que o novo seja superior ao velho.

Quando uma pessoa tem um bom domínio de um corpo de conhecimentos, um novo conhecimento pode decorrer da interação cognitiva de uma soma de conhecimento prévio. Esta forma é conhecida como **aprendizagem combinatorial**.

Enquanto a aprendizagem significativa vai ocorrendo, os conceitos podem ser desenvolvidos, novamente elaborados e diferenciados. Isto ocorre devido às sucessivas interações (UFRS, 2009):

- a) Diferenciação progressiva: inicialmente, devem ser apresentadas as ideias mais gerais e mais inclusivas e, assim, serão progressivamente diferenciadas. Começar do geral e, progressivamente, chegar ao específico.
- b) Reconciliação integrativa: correlacionar as ideias, mesmo que apresentem diferenças, harmonizando as discrepâncias reais e aparentes. Deve-se fazer constantes referências ao geral para não perder a visão do todo.

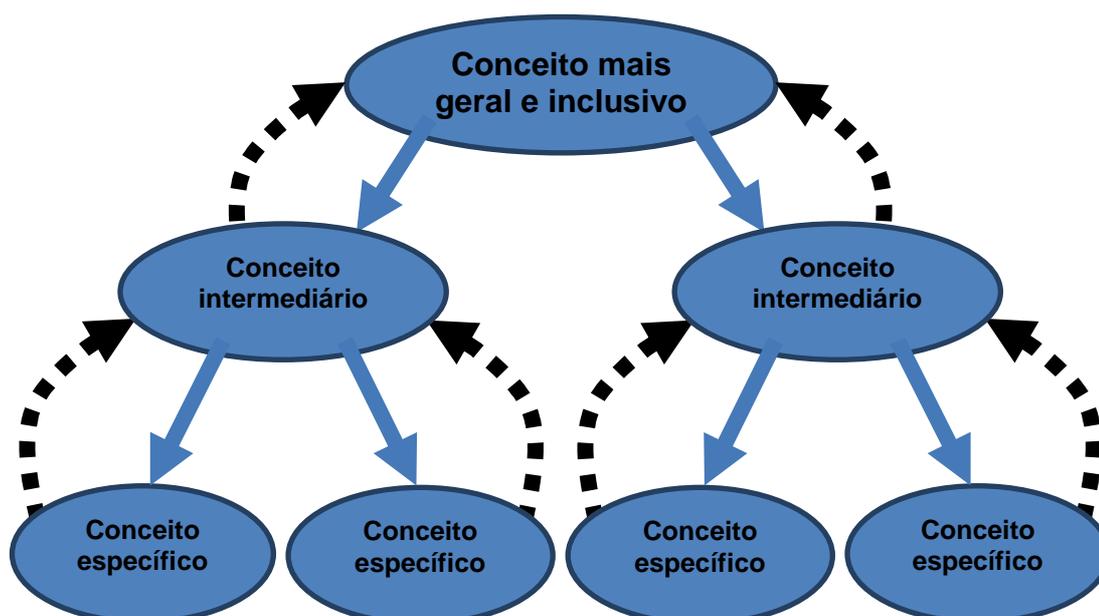


Figura 15: Representação esquemática do modelo de diferenciação progressiva (→) e a reconciliação integrativa (■ ■ →) segundo Moreira e Masini (2006)

A Figura 15 mostra um esquema dos processos da diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, na qual, para obter a diferenciação progressiva, é necessário descer dos conceitos gerais para os específicos e subir até os gerais para se chegar a uma reconciliação integrativa.

Conforme Figura 14, a obtenção de um novo conhecimento é facilitada através de organizadores prévios. Pontes cognitivas entre novos conhecimentos e aqueles já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz servem como um recurso instrucional potencialmente facilitador da aprendizagem significativa. Estes recursos são denominados de **organizadores prévios** (MOREIRA, 2008). Organizadores prévios são materiais introdutórios oferecidos antes do material de aprendizagem em si. Eles têm como intuito relacionar os novos conhecimentos e aqueles já existentes na estrutura cognitiva, principalmente quando a pessoa não percebe que são relacionáveis aos novos. Os organizadores prévios visam provocar o interesse e desejo de aprender. Deseja-se sua formulação com um vocabulário bastante familiar ao aluno, de modo que sua organização, bem como a aprendizagem, sejam consideradas como materiais de valor pedagógico.

A aula e o material instrucional de apoio (livros, transparências, figuras) são potencialmente significativos, quando satisfeitas as condições internas (existência de ideias de esteio firmes e de vontade de aprender), este material possibilita a aprendizagem significativa do aluno. Para tal, uma condição indispensável a ser

obedecida é que as novas ideias sejam propostas de maneira não-arbitrária, fazendo-se referência lógica e clara com ideias âncoras já presentes na estrutura cognitiva do estudante.

No processo de elaboração deste material, Ausubel propõe algumas considerações que, se forem seguidas, podem facilitar a aprendizagem significativa destes conteúdos pelos alunos.

Depende do aluno a predisposição para aprender, mas existem fatores relativos à estrutura cognitiva do indivíduo que devem ser considerados no processo ensino-aprendizagem, como a existência, a extensão de utilização, clareza e firmeza dos **subsunçores**.

Para Ausubel, o objetivo maior do ensino acadêmico é que todas as ideias sejam aprendidas de forma significativa. Isso porque, normalmente, deste jeito as novas ideias serão “armazenadas” por bastante tempo e de maneira estável. Além disso, a aprendizagem significativa permite ao aprendiz o uso do novo conceito de forma inédita, independentemente do contexto em que este conteúdo foi primeiramente aprendido.

2.3.1 OS MAPAS CONCEITUAIS: UMA TÉCNICA PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Os mapas conceituais têm por objetivo representar relações significativas entre conceitos na forma de proposições. Uma proposição é constituída de dois ou mais termos conceituais unidos por palavras para formar uma unidade semântica (PELIZZARI et al., 2002, p. 41).

Os mapas conceituais permitem revelar concepções equivocadas ou interpretações não aceitas, errôneas ou não, de um conceito. As ligações devem sair dos conceitos mais gerais para os conceitos mais específicos e menos inclusivos, isto é, deve haver certa hierarquia.

Embora normalmente tenham uma organização hierárquica e, muitas vezes, incluam setas, tais diagramas não devem ser confundidos com organogramas ou diagramas de fluxo, pois não implicam sequência, temporalidade ou direcionalidade, nem hierarquias organizacionais ou de poder. Mapas conceituais são diagramas de significados, de relações significativas; de hierarquias conceituais, se for o caso (MOREIRA, 1998, p. 1).

Mesmo havendo uma hierarquia, Moreira(1998) diferencia os mapas conceituais de organogramas ou diagramas de fluxo e, também, de mapas mentais. Os mapas conceituais, segundo o autor, procuram relacionar e hierarquizar os conceitos. Num sentido amplo, mapas conceituais são apenas diagramas indicando relações entre conceitos. Um exemplo de mapa conceitual pode ser visto na Figura 14.

Normalmente, os alunos sempre trazem conceitos deles mesmos, o que deve ser incentivado.

2.3.2 AS SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

De acordo com Zabala (1998), as sequências didáticas são:

Um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos(ZABALA, 1998, p. 1).

Assim, Zabala (1998) aponta que as atividades e conteúdos devem ser articulados visando um ou mais objetivos. Deve-se ponderar os objetivos educacionais na definição dos conteúdos de aprendizagem e a função das atividades que são escolhidas. Uma sequência didática é assim constituída por diversas atividades. As atividades necessitam ser integradas, não somente pelos objetivos, mas por ações, atitudes, questionamentos e procedimentos. Estas atividades são organizadas de forma a aprofundar o assunto que está sendo abordado. As atividades podem ser: levantamento de conhecimentos prévios, experimentação, leitura de textos, pesquisas em grupos, debates, uso da internet, vídeos e mostra de reportagens e seminários.

Na aprendizagem significativa, os novos conhecimentos que se adquirem relacionam-se com o conhecimento prévio. A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva do aluno. Para Zabala (1998), uma aprendizagem significativa pode ser proporcionada pela utilização de sequências didáticas.

É necessário que diante dos conteúdos os alunos possam atualizar seus esquemas de conhecimento, compará-los com que é novo, identificar semelhanças e diferenças e integrá-las em seus esquemas, comprovar que o resultado tem certa coerência etc. Quando acontece tudo isto – ou na medida em que acontece – podemos dizer que está se produzindo uma aprendizagem significativa dos conteúdos apresentados (ZABALA, 1998,p.37).

Existem diversos exemplos de sequências didáticas nas mais diferentes áreas de conhecimento. Santos (2017) montou uma sequência didática em química, na qual, dentro das diversas atividades, propõe um Júri Simulado. Uma feira cultural, produção de cartazes e confecção de folder fazem parte de um sequência didática sobre radiação UV de Franco (2018). Uma sequência didática em letras para o 2º ano do ensino fundamental é realizado por Lima (2014).

Neves (1996) ressalta que, nas atividades propostas, é necessária uma abordagem qualitativa e de natureza descritiva, isto é, uma existência de uma relação dinâmica entre o sujeito e o mundo real.

São diversas as formas de avançar no conhecimento de um fenômeno: pela sua descrição, pela medição, pela busca de nexos causal entre seus condicionantes, pela análise de contexto, pela distinção entre forma manifesta e essência, pela indicação das funções de seus componentes, pela visão de sua estrutura, pela comparação de estados alterados de sua essência, dentre outras. Diferentes maneiras de conceber e lidar com o mundo geram formas distintas de perceber e interpretar significados e sentidos do objeto pesquisado que não se opõem nem se contradizem (NEVES, 1996, p. 4).

3 METODOLOGIA

Para a aplicação deste trabalho, foram selecionadas três turmas do Ensino Médio, com cerca de 35 alunos cada, do 2º período do Colégio Estadual Alfredo Moisés Maluf, localizado na Rua Arlindo Marquezini, nº 654, Conjunto Hermann Moraes de Barros, em Maringá-PR, o qual possui clientela com poder aquisitivo de classe média baixa, que está sob a jurisdição da Diretoria de Ensino de Maringá, instituição pertencente à Secretaria de Educação do Estado do Paraná no período de maio a agosto de 2017, tendo um período de férias neste intervalo de tempo.

A escola oferta atendimento aos anos finais do Ensino Fundamental (6º ao 9º ano) e ao Ensino Médio (1º ao 3º ano). Para este trabalho, foram utilizados como recursos tecnológicos a televisão e o data show da escola.

Para a concretização deste trabalho foi aplicada uma sequência didática, conforme mostrado na Tabela 4, abaixo.

Tabela 4: Sequência didática

A. Levantamento dos conhecimentos prévios:

Mapa conceitual

A1. Objetivos

- Avaliação sobre os significados e relações significativas entre o conceito-chave da matéria (ondas) segundo a visão dos alunos
- Visualização da organização conceitual

A2. Planejamento e cronograma de execução

- Iniciar a aula lembrando os alunos sobre os mapas conceituais
- Realização em conjunto do mapa conceitual com a turma
- Discussão na turma sobre o mapa conceitual

A3. Atividades propostas

- Construção do mapa conceitual da turma sobre o conceito chave da matéria – ondas

A4. Recurso didático

- Quadro negro
-

B. Ampliação de conhecimentos:

Discussão de questões em grupos e na turma

B1 Objetivos

- Introdução sobre a propagação das ondas mecânicas e eletromagnéticas (luz) e propiciar uma interação dos estudantes em equipes na sala de aula

B2. Planejamento e cronograma de execução

- Formular perguntas com objetivos específicos para serem respondidas em grupo
- Separação da turma em equipes de 5-6 alunos
- Discussão e preparação de resposta pelas equipes
- Discussão das respostas das equipes na turma mediada pelo professor, considerando sempre os objetivos

B3. Atividades propostas

- Discussão e respostas de questões em grupos e posterior discussão das respostas na turma mediada pelo professor

B4. Recurso didático

- Sala de aula
-

C. Ampliação e Sistematização de Conhecimentos:

Aulas expositivas

C1 Objetivos

- Abranger o todo o conteúdo de ondas mecânicas e eletromagnéticas, inclusive tópicos iniciais de ótica (ver capítulo INTRO introdução teórica)

C2. Planejamento e cronograma de execução

- Aulas expositivas, utilizando os significados e relações significativas obtidas no mapa conceitual inicial
- Pesquisa de exemplos do dia-a-dia para utilização nas aulas
- Cerca de um mês e meio de aula

C3. Atividades propostas

- Discussão do conteúdo com os alunos
- Levantamento de exemplos dos próprios estudantes
- Exercícios de fixação
- Lista de exercícios

C4. Recurso didático

- Quadro negro
-

D. Ampliação de conhecimentos:

Vídeos

D1 Objetivos

- Complementação e ampliação da visão dos conceitos obtidos nas aulas expositivas

D2. Planejamento e cronograma de execução

- Busca de vídeos que se adaptam temporariamente a aula (2 a 7 minutos) e também conceitualmente

D3. Atividades propostas

- Assistir os vídeos nas aulas expositivas
- Discussão do conteúdo dos vídeos com os alunos

D4. Recurso didático

- Data show e computador, ou televisão com entrada USB
-

E. Relacionando com o mundo real:

Experimentos

E1 Objetivos

- Aprofundar os conceitos estudados
- Busca de exemplos de aplicações
- Mostrar que as aplicações podem ser de custo monetário pequeno e ao alcance de todos, até utilizando materiais recicláveis

E2. Planejamento e cronograma de execução

- Planejamento do cronograma (utilização do período de férias de julho)

E3. Atividades propostas

- Explicação dos objetivos, cronograma (utilização do período de férias de julho) e atividades
- Divisão de grupos de quatro estudantes
- Apresentação do experimento em sala de aula
- Entrega de trabalho teórico escrito

E4. Recurso didático

- Diversos
-

F. Relacionando com o mundo real:

Apresentação do espectrômetro (ver apêndice)

F1 Objetivos

- Complemento da aprendizagem
- Mostra de equipamento científico construído com peças de custo baixo
- Trazer uma visão tecnológica do conteúdo
- Apresentar a importância dos conceitos aprendidos no âmbito da indústria e das ciências

F2. Planejamento e cronograma de execução

- Construção do espectrômetro conforme apêndice

F3. Atividades propostas

- Apresentação do equipamento
- Utilização do mesmo por grupos de 5-6 alunos
- Discussão dos resultados correlacionando com os conceitos estudados

F4. Recurso didático

- Espectrômetro e computador
-

G. Levantamento dos conhecimentos adquiridos:

Mapas conceituais finais

G1 Objetivos

- Organização dos conteúdos
- Avaliação de aprendizagem

G2. Planejamento e cronograma de execução

- Esta atividade pode ser aplicada depois das aulas expositivas ou mais ao final da sequência
- Em uma das turmas, onde não cumpriu satisfatoriamente os objetivos propostos, foi realizado mais um processo de fixação de conteúdos, através de aulas expositivas complementares e logo após a confecção de novos mapas conceituais

G3. Atividades propostas

- Confecção pelos alunos de mapa conceitual com o conceito chave da matéria - ondas

G4. Recurso didático

- Papel sulfite
-

De acordo com a Tabela 4, os trabalhos iniciaram-se com a etapa A, com a confecção de mapa conceitual no quadro negro com a palavra chave “ondas”. O objetivo foi de diagnosticar os conhecimentos e utilizá-los nas próximas fases.

Na etapa B, foram feitos alguns questionamentos introdutórios em grupos (ver Tabela 5), objetivando, também, uma interação com todos os estudantes na sala de aula. Logo após a apresentação das respostas pelos grupos, foi feita uma discussão do conteúdo mediada pelo professor.

Tabela 5: Questões apresentadas para discussão com os alunos e respectivos objetivos

Questionamentos propostos	Objetivos
Quais os tipos de sons que vocês ouvem?	Familiarizar o tema com o dia-a-dia. Propiciar a interação dos alunos. Busca de conhecimentos prévios
Como conseguimos ouvir sons distantes?	Observar a dependência da intensidade do som com a distância
Como o som chega até nós?	Determinar a necessidade de meio material para propagação do som (ondas mecânicas)
Como a luz chega até nós?	Expor que Propagação da luz no vácuo (ondas eletromagnéticas)
Qual a relação entre o som e a luz?	Descobrir que ambos são ondas e discutir os tipos de ondas

Neste momento, a tarefa de trazer algum experimento sobre ondas foi apresentada para as equipes. O processo de escolha do experimento demorou alguns dias e contou com a ajuda do professor. Foi dada toda a liberdade para as equipes na escolha dos experimentos.

As etapas C e D foram superpostas, isto é, não houve uma aula de vídeos e outra aula de giz, a ampliação de conhecimentos e a sistematização de conhecimentos caminharam juntas.

Na etapa C (ampliação e sistematização de conhecimentos), foram utilizados os significados e relações significativas obtidas no mapa conceitual inicial e exemplos do dia a dia. O professor resolveu, na sala de aula, os exercícios propostos de fixação e os alunos realizaram as listas de exercícios.

Na etapa E (relacionando com o mundo real), os alunos construíram, arranjaram, adaptaram ou moldaram os seus próprios experimentos.

Na etapa F (ainda relacionando com o mundo real), foi apresentado um espectrômetro (a construção e utilização do equipamento estão descritos no APÊNDICE A e no Capítulo 4). A utilização do equipamento, que é simples, foi feita por grupos de 5 a 6 alunos e mediada por um professor. O principal objetivo foi de apresentar a importância dos conceitos aprendidos no âmbito da indústria e ciência.

Na última etapa (levantamento dos conhecimentos adquiridos), foi realizado um mapa conceitual, agora individual, para verificação da aprendizagem significativa dos alunos. Em uma das turmas, onde se percebeu o não cumprimento satisfatório dos objetivos propostos, foi realizado mais um processo de aprendizagem de conteúdos, por meio de aulas expositivas complementares e, logo após, a confecção de novos mapas conceituais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS - MAPA CONCEITUAL INICIAL

O objetivo do uso mapa conceitual inicial é a avaliação dos significados e relações significativas entre o conceito-chave da matéria (ondas) segundo a visão dos alunos e, também, a visualização da organização conceitual.

Os mapas conceituais já tinham sido apresentados anteriormente para as turmas em outros tópicos.

A Figura 16 mostra o mapa conceitual inicial característico de uma das turmas. O conteúdo dos mapas não foi muito diferente entre as três turmas. Ele mostra que os significados importantes já estão postos, até surpreende que palavras como RMN, raios-X e outras estejam presentes. Entretanto, os mapas conceituais iniciais mostram pouco ou nenhum detalhamento, percebendo que os alunos já possuíam um conhecimento básico do conteúdo, isto é, conceitos mais gerais e inclusivos. Vale a pena lembrar que as palavras que não tinham relação com o conteúdo foram deixadas de lado.

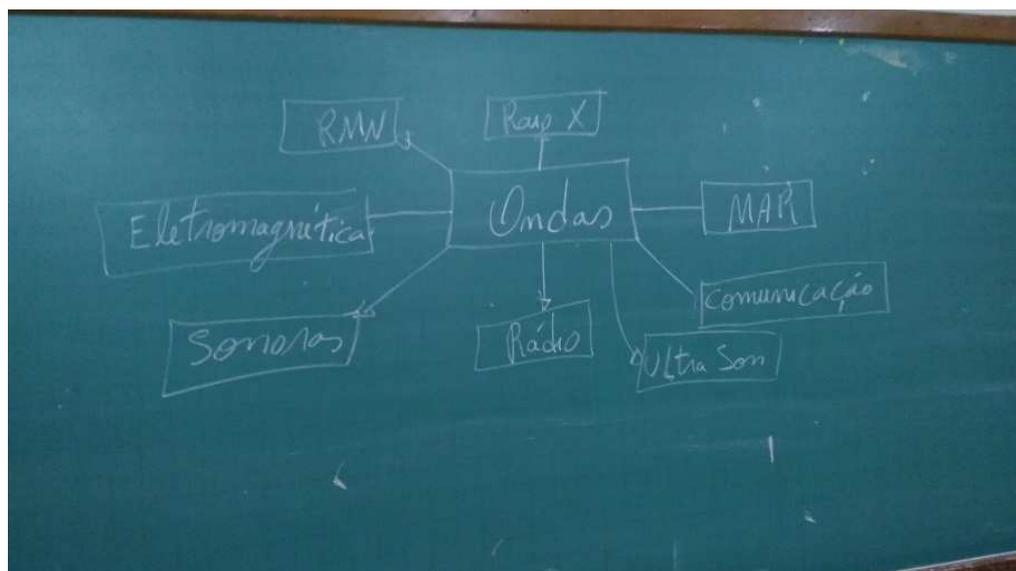


Figura 16: Mapa conceitual mental inicial de uma das turmas

4.2 AMPLIAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DE CONHECIMENTOS

4.2.1 DISCUSSÃO DE QUESTÕES EM GRUPOS NA TURMA

Na etapa B, foram feitos alguns questionamentos introdutórios em grupos (ver Tabela 5). O objetivo foi de fazer uma introdução sobre a propagação das ondas mecânicas e eletromagnéticas (luz) e, também, uma interação com todos os estudantes na sala de aula, o que foi alcançado em todas as turmas.

Os grupos de 5 e 6 alunos se debruçaram sobre as perguntas propostas. As respostas foram apresentadas oralmente na sala de aula, possibilitando a disseminação de ideias. O professor, neste momento, agiu como mediador e também como educador, interferindo educadamente nas respostas, refazendo as perguntas, solicitando relatos de exemplos, fomentando troca de ideias entre as equipes, corrigindo colocações errôneas a fim de trazer um rigor maior às ideias.

Depois das discussões, foi pedido um minuto de silêncio para que os alunos observassem as seguintes questões: quais os sons ouvidos? Quão distantes se originam estes sons? São graves ou agudos? A reflexão do som nas paredes e objetos ajuda o som chegar aos nossos ouvidos?

Logo após, os alunos fizeram uma apresentação oral bem sucedida com as respostas.

4.2.2 AULAS EXPOSITIVAS

As aulas expositivas levaram em consideração o conteúdo do livro “Física: Terminologia Óptica Ondulatória” de Bonjorno, Ramos e Alves (2010). Os vídeos da etapa D foram utilizados durante as aulas expositivas. A ampliação e sistematização de conhecimentos caminharam juntas.

4.2.3 VÍDEOS

A complementação e ampliação da visão dos conceitos foram obtidas por meio da apresentação de vídeos curtos durante as aulas. A lista dos vídeos

utilizados está disponível na Tabela 6. Foram escolhidos vídeos de curta duração que apresentavam os conteúdos apresentados em sala de aula. As apresentações dos vídeos foram feitas nas televisões multimídia ou nos data shows disponibilizados em cada sala.

Em alguns vídeos houve uma discussão anterior a sua exibição, a qual visava aumentar o interesse pelo vídeo e a assimilação dos conhecimentos. A discussão anterior mostrou ser eficiente e a discussão posterior, imprescindível, possibilitou uma melhor ancoragem dos conhecimentos.

Tabela 6: Vídeos apresentados

TITULO	RESUMO	ENDEREÇO:
Vídeo 1 Classificação das Ondas - Brasil Escola	Neste vídeo foi trabalhado os tipos e o conceito de ondas	https://youtu.be/tPcrnKtbV8Q
Vídeo 2 Conceitos Frequência, período e velocidade exercícios	Com este vídeo, se iniciou os cálculos relacionados com ondas	https://youtu.be/dwojKAD_CR8
Vídeo 3 Propriedades do som Professor JoséSilveira	Com este vídeo, se mostrou os tipos de som, comparando com música	http://professorjosesilveira.com Apostilas: https://goo.gl/Vir6XsFac ebook: https://goo.gl/TnrqAC
Vídeo 4 Propriedades do som, altura intensidade e timbre	Neste vídeo foram apresentadas algumas propriedades do som: altura, intensidade e timbre	https://youtu.be/pWqAtp1baqE
Vídeo 5 Eletromagnetismo Espectro eletromagnético	No vídeo foram trabalhados todos os comprimentos de ondas do espectro	https://www.youtube.com/watch?v=-C2erXakQIQ

4.3 RELACIONANDO COM O MUNDO REAL

4.3.1 EXPERIMENTOS

As turmas foram separadas em equipes para providenciarem a mostra de experimentos. As listas dos experimentos estão apresentadas na Tabela 7 e um pequeno detalhamento dos mesmos está presentes no ANEXO A.

De acordo com o planejamento, foi possível utilizar as férias de julho para que os alunos tivessem mais tempo para planejarem os experimentos a serem apresentados. Isto foi um grande benefício para as apresentações.

A apresentação dos experimentos foi realizada em média de dois dias seguidos. Houve a participação efetiva da maioria dos membros das equipes e um grande empenho nas apresentações. Com a apresentação nas aulas, houve a troca de informações entre as equipes e um grande interesse pelo trabalho umas das outras. Foram discutidas regras de respeito mútuo entre alunos e equipes em uma situação real.

O objetivo principal de relacionar os conteúdos com os experimentos reais foi satisfatoriamente alcançado. Também foi obtido um melhor aprofundamento ou ancoragem dos conceitos estudados, uma busca de diversos exemplos de aplicações e mostrar que as aplicações podem ser de custo monetário pequeno e ao alcance de todos, até utilizando, em alguns casos, materiais recicláveis.

Tabela 7: Experimentos apresentados pelas turmas

Turma	Experimentos
Turma A	Caleidoscópio
	Como fazer a luz viajar em curva
	Disco de Newton
	Dispersão da luz
	Espelho infinito
	Magnetismo, cargas eletrostáticas e caneca assustada
	Ondas eletromagnéticas
	Ondas sonoras
	Refração da luz
Turma B	Caleidoscópio
	Como fazer a luz viajar em curva
	Disco de Newton
	Dispersão da luz

	Espelho infinito Magnetismo, cargas eletrostáticas e caneca assustada. Ondas mecânicas Ondas sonoras Refração da luz
Turma C	Caleidoscópio Como fazer a luz viajar em curva Direção de propagação das sonoras Disco de Newton Dispersão da luz Enxergando as ondas Espelho infinito Magnetismo, cargas eletrostáticas e caneca assustada. Ondas eletromagnéticas Ondas mecânicas Refração da luz

4.3.2 RELACIONANDO COM O MUNDO REAL - APRESENTAÇÃO DO ESPECTRÔMETRO

Foi construído um espectrômetro ótico de construção sólida, simples e de baixo custo, desenvolvido com auxílio dos técnicos de mecânica e eletrônica do Departamento de Física da UEM e projetado para que fosse muito parecido com os espectrômetros comerciais em sua funcionalidade (Figura 17).



Figura 17: Apresentação do espectrômetro

Para a montagem do espectrômetro, foi utilizado um sensor de luz linear TSL1402R, que fez a aquisição do espectro, uma placa Arduino Uno, para controle, uma pequena folha de grade de difração 1000 linhas/mm (Diffraction Grating Sheet 1000 lines/mm), 02 chaves momentânea de embutir (push button), uma chave liga desliga de embutir e um computador com o software Arduino IDE, cabos (fios) de ligação. As medidas foram feitas usando diversas cubetas descartáveis de plástico para espectrofotômetro, contendo líquidos com corantes de diversas cores.

O elemento da montagem experimental mais caro é o sensor de luz linear, que custa cerca de 10 a 20 dólares. A folha inteira grade de difração (tamanho de um sulfite A4) custa cerca de 8 dólares, mais é utilizado um pedacinho pequeno (também pode ser substituída por um pedaço de um DVD). A placa Arduino Uno pode ser adquirida facilmente no mercado nacional por cerca de R\$ 50,00.

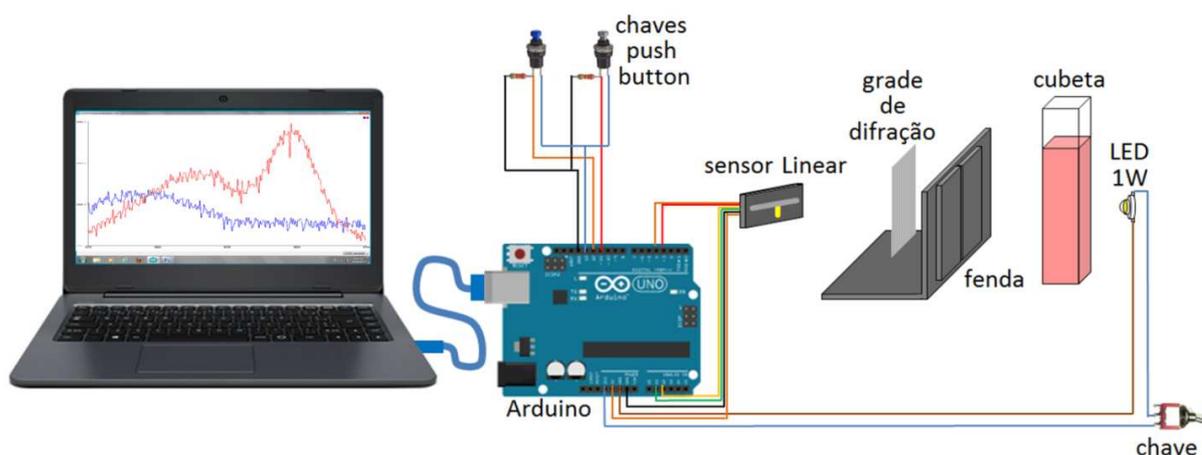


Figura 18: Esquema da montagem experimental (as ligações no sensor linear estão no texto)

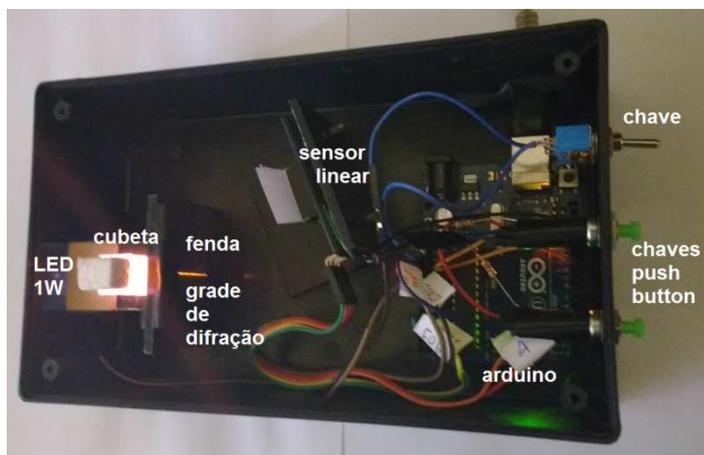


Figura 19: Montagem experimental dentro de uma caixa para mostrar o arranjo experimental (o tampo da caixa foi colocado só durante a aquisição do espectro)

Ao aplicar o produto educacional (ver apêndice), observou-se que os alunos se prenderam mais aos detalhes, pois seus conhecimentos tinham se aprofundado no decorrer do curso, quando aplicado o produto educacional, onde houve o manuseio. Ocorreu uma grande interação e observação sanando assim seus questionamentos a respeito da aplicação e funcionamento do espectrômetro. Os alunos foram capazes de relacionar a física com o que estavam aprendendo e utilizando em seu cotidiano.

Os objetivos de complemento da aprendizagem que foram: mostrar a possibilidade de desenvolver um equipamento científico construído com peças de custo baixo, de trazer uma visão tecnológica em sala de aula e de apresentar a importância dos conceitos aprendidos no âmbito da indústria e das ciências foram plenamente alcançados, por meio da análise dos mapas conceituais e pela conclusão dos estudantes.

4.4 LEVANTAMENTO DOS CONHECIMENTOS ADQUIRIDOS - MAPAS CONCEITUAIS FINAIS

As Figuras 20 a 30 mostram alguns dos mapas característicos finais individuais, os quais apresentam uma variedade na montagem dos mesmos pelos estudantes. Isso mostra a diversidade cognitiva dos estudantes.

Nos mapas conceituais finais surgem palavras que caracterizam as ondas como: amplitude, intensidade, frequência, velocidade, comprimento e polarização.

Há também alguns exemplos de ondas, como: luz, onda eletromagnética, som e ondas do mar. Os mapas mostram que houve uma diferenciação entre ondas longitudinais e transversais.

Os processos com dispersão, ressonância, difração e interferência são citados, assim como os meios de propagação como matéria e vácuo (vácuo). Uma distinção entre as diferentes ondas como raio x, raios gama, infra vermelho, ondas de rádio, micro ondas, ultravioleta é observada.

Aplicações, principalmente das ondas eletromagnéticas, como rádio, celular e televisão são vistas com frequência. Isso mostra que estes exemplos de ondas eletromagnéticas foram importantes para os alunos.

As palavras citadas no texto anterior são as que aparecem nos mapas conceituais finais e, em alguns casos, se repetem, mostrando um conteúdo vasto das turmas.

Por meio destes mapas individuais, percebeu-se que houve incorporação de um maior número palavras e ligações entre elas e em suas interpretações a respeito de “ondas”. Olhando o mapa conceitual inicial, mostrado na Figura 16, percebe-se que os alunos possuíam um conhecimento muito básico do conteúdo, isto é, conceitos mais gerais e inclusivos. Depois, passaram a fazer uma releitura mais detalhada, trazendo mais conceitos específicos. Isso mostra que houve uma diferenciação progressiva e uma reconciliação integrativa. A maioria dos alunos também alterou e corrigiu erros conceituais.

Os mapas revelaram novas ideias, informações e, conseqüentemente, novos significados dos conhecimentos internalizados. Em uma das turmas, onde os mapas mostraram deficiências, foi necessária uma revisão dos conteúdos. Isso mostra que os mapas conceituais são uma boa ferramenta de avaliação para os professores.

É notório que esse trabalho, apoiado na aprendizagem significativa, mexeu com a estrutura cognitiva dos estudantes de forma crítica, levando a novos conhecimentos para seu cotidiano. Eles conseguiram fazer uma ancoragem entre os conhecimentos prévios e as novas informações adquiridas. Este progresso ficou mais que confirmado pelos mapas conceituais.

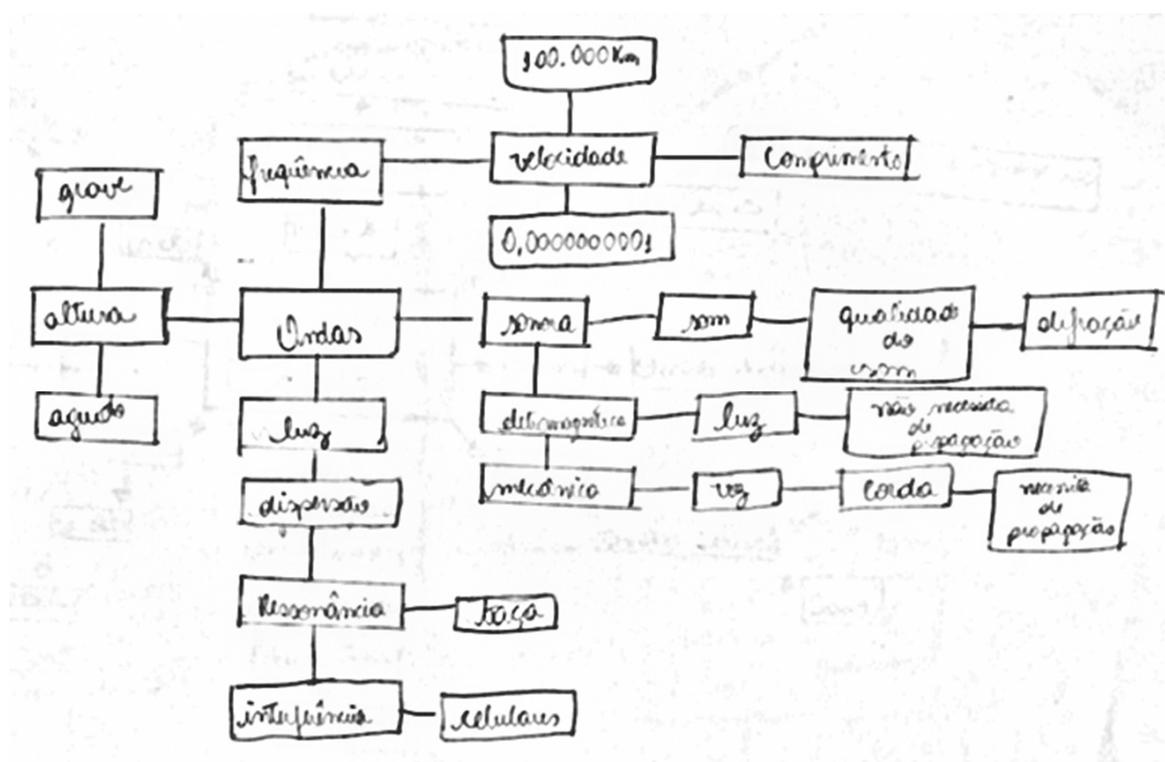


Figura 20: Mapa final 1

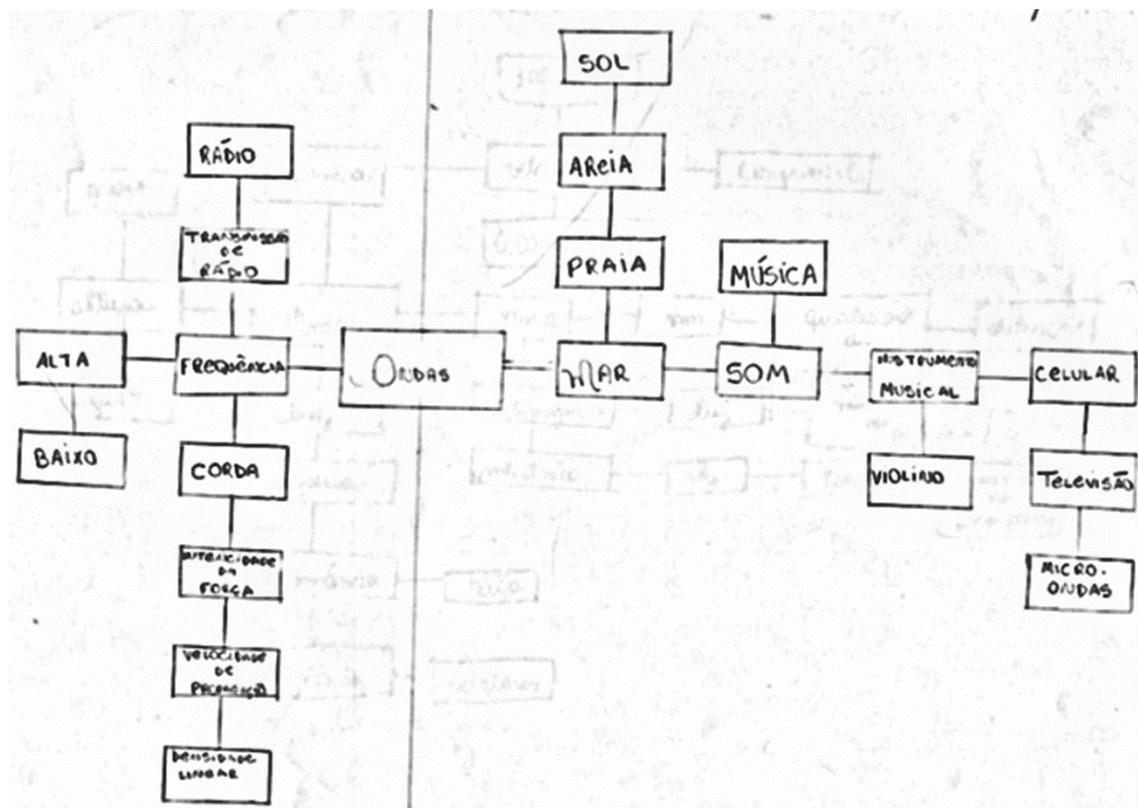


Figura 21: Mapa final 2

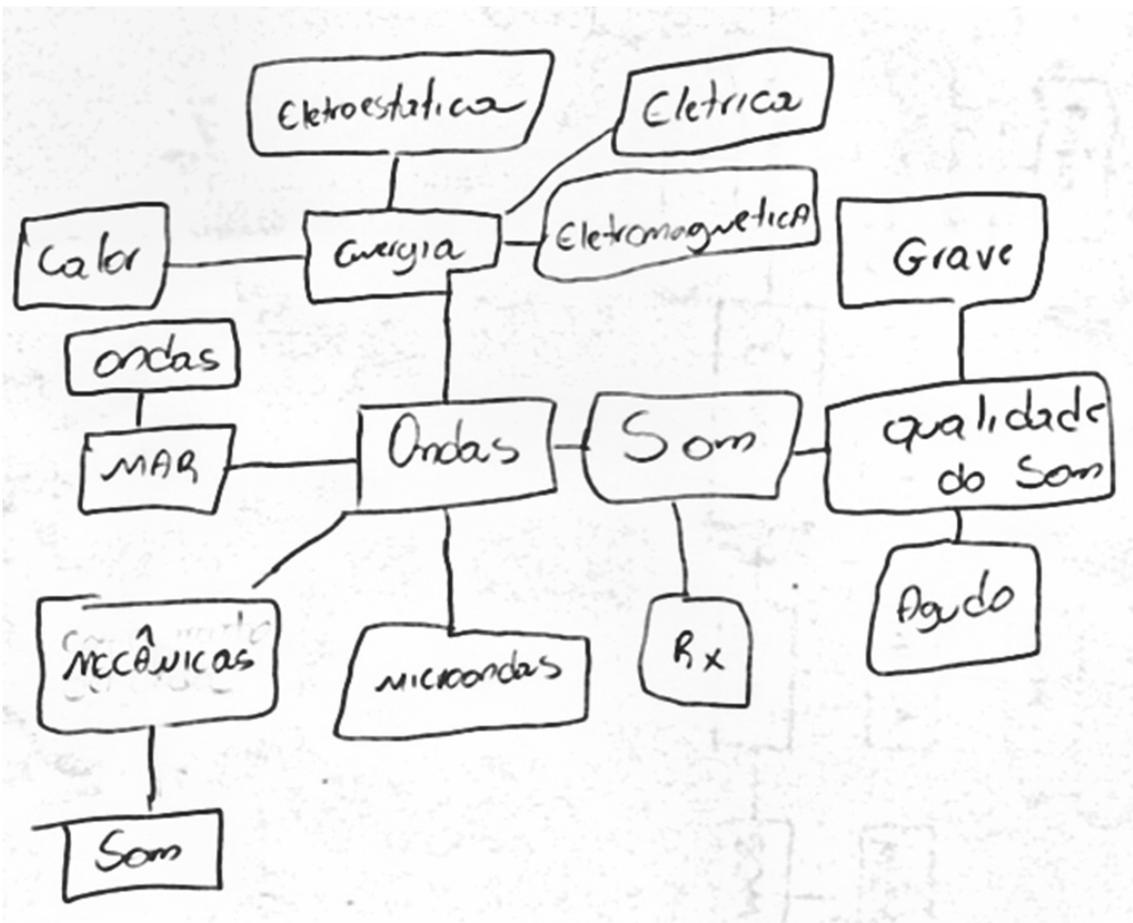


Figura 22: Mapa final 3

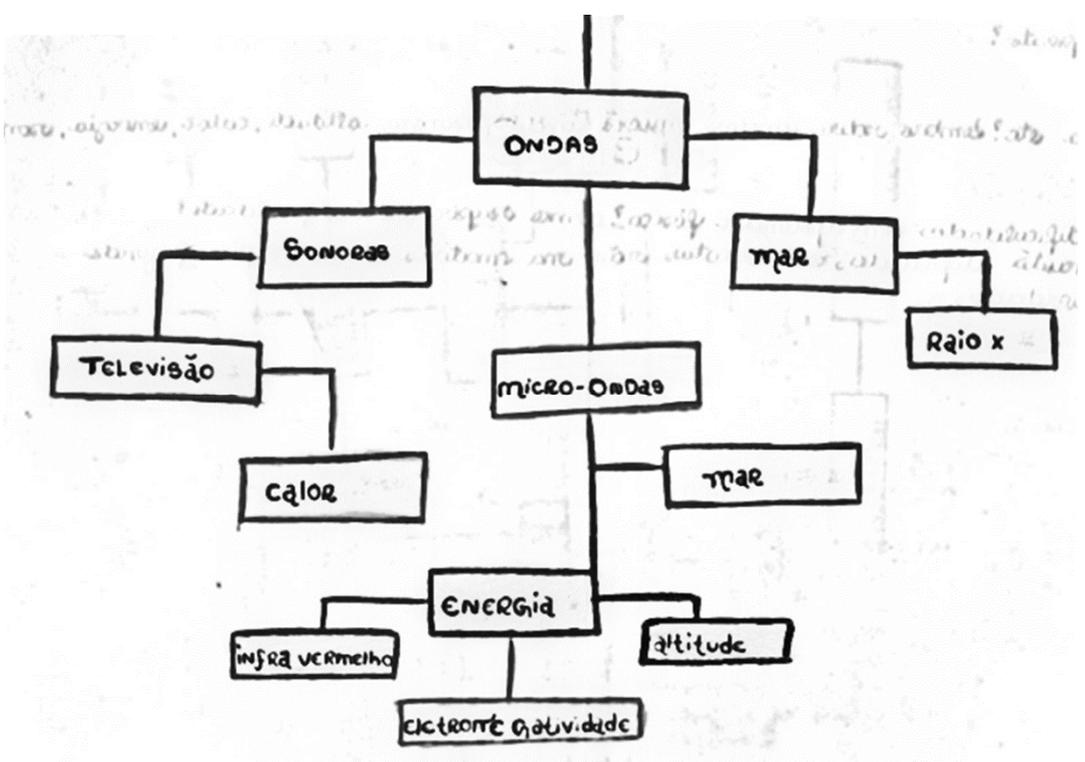


Figura 23: Mapa final 4

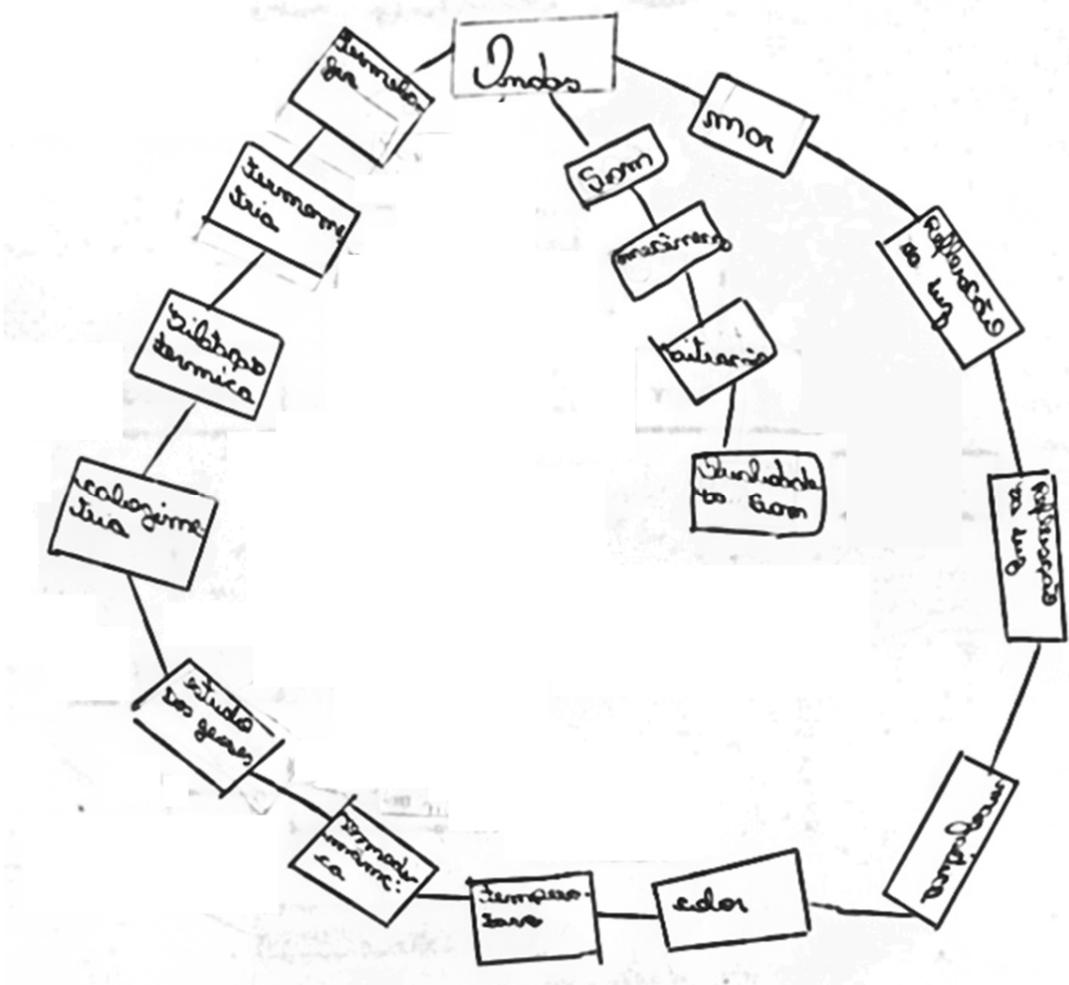


Figura 24: Mapa final 5

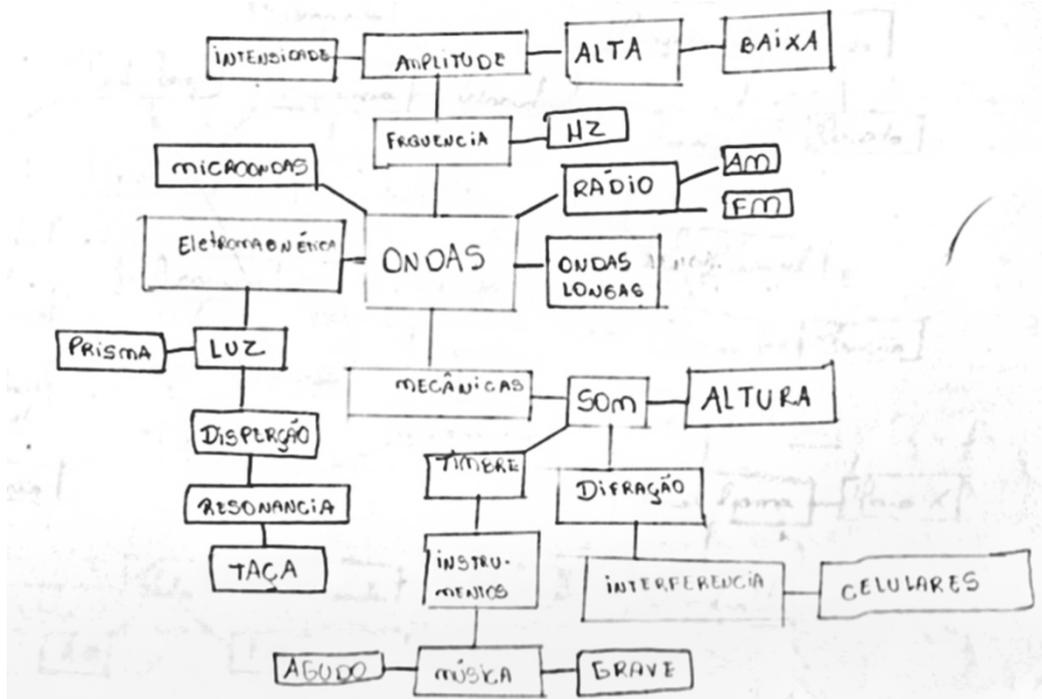


Figura 25: Mapa final 6



Figura 26: Mapa final 7

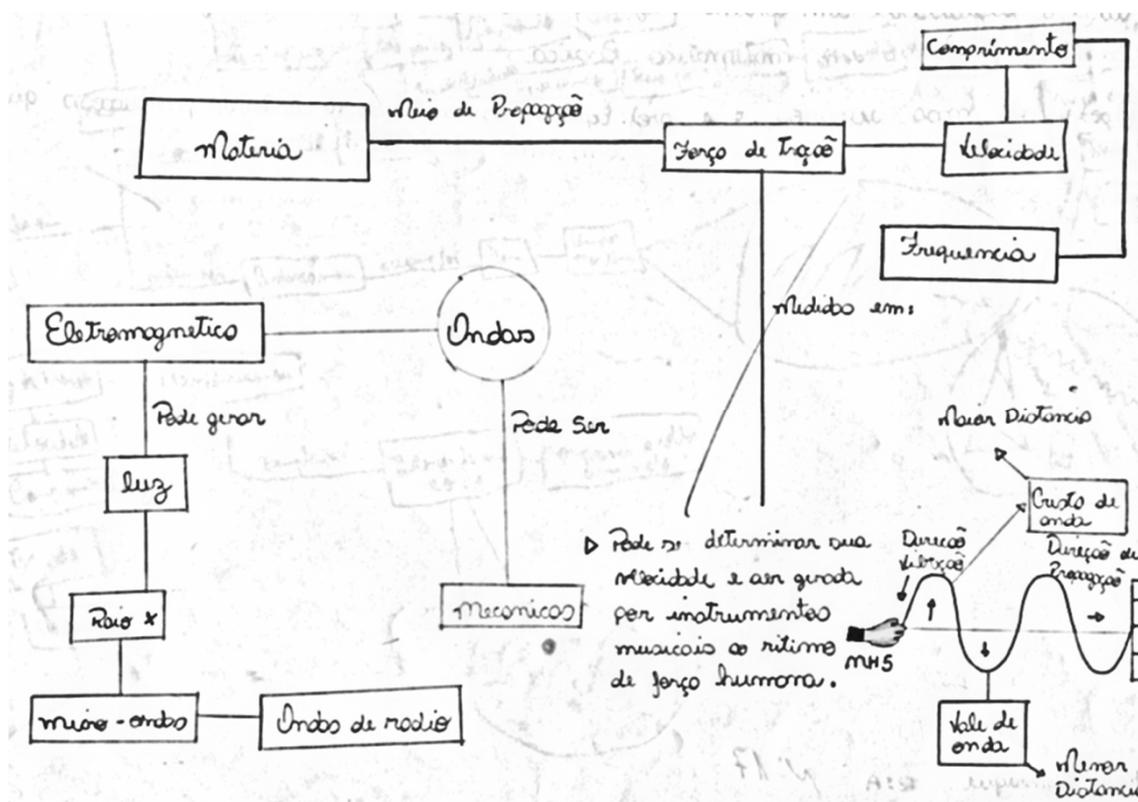


Figura 27: Mapa final 8

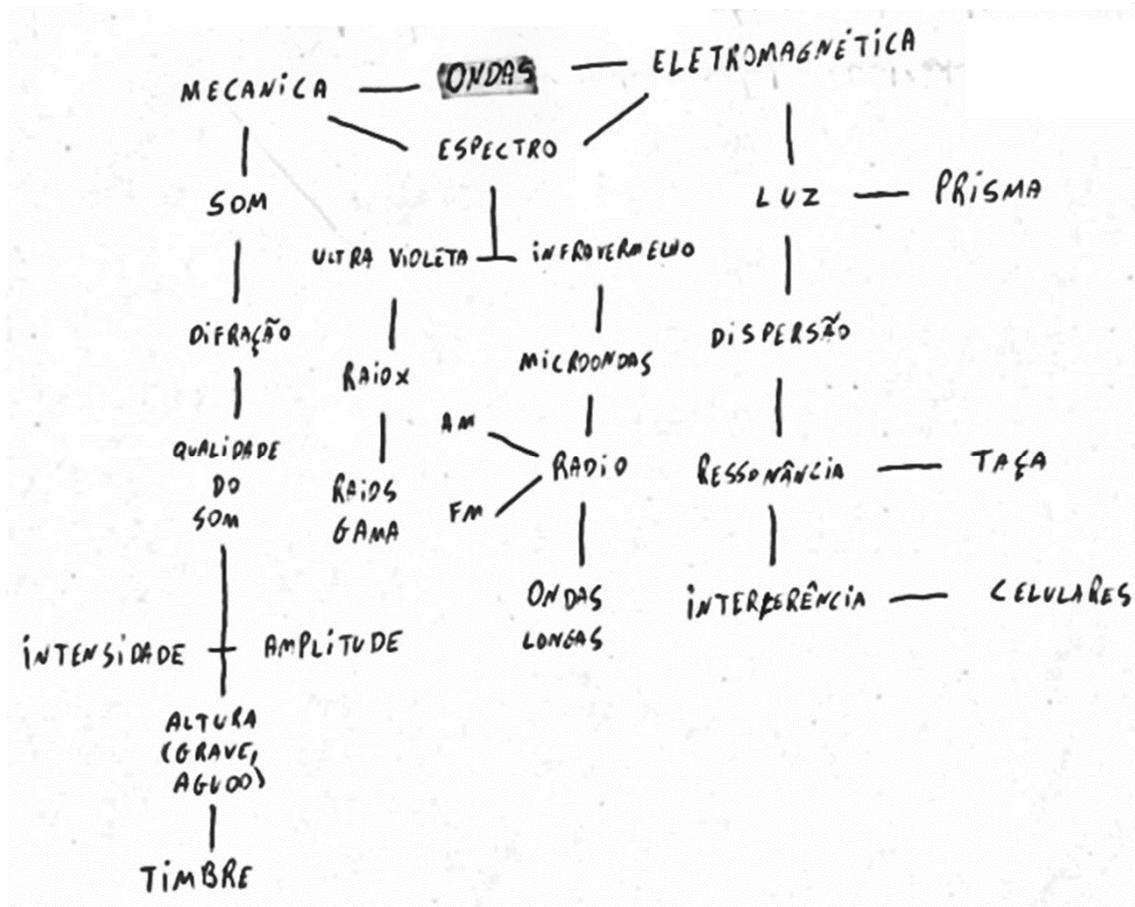


Figura 28: Mapa final 9

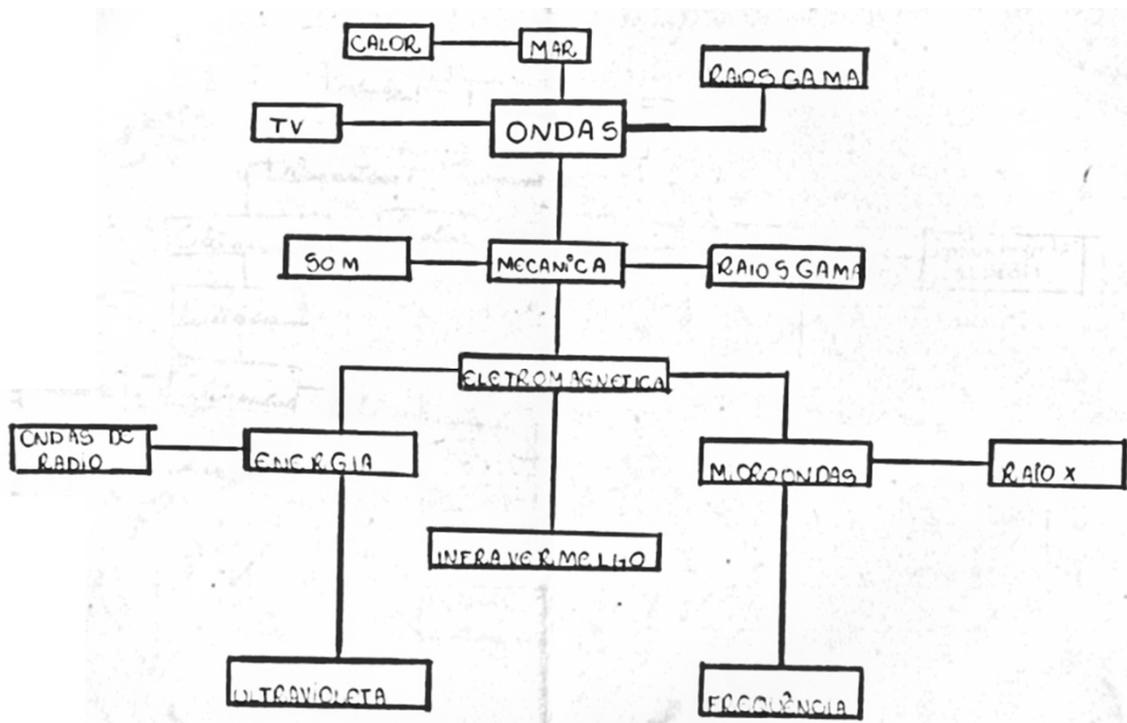


Figura 29: Mapa final 10

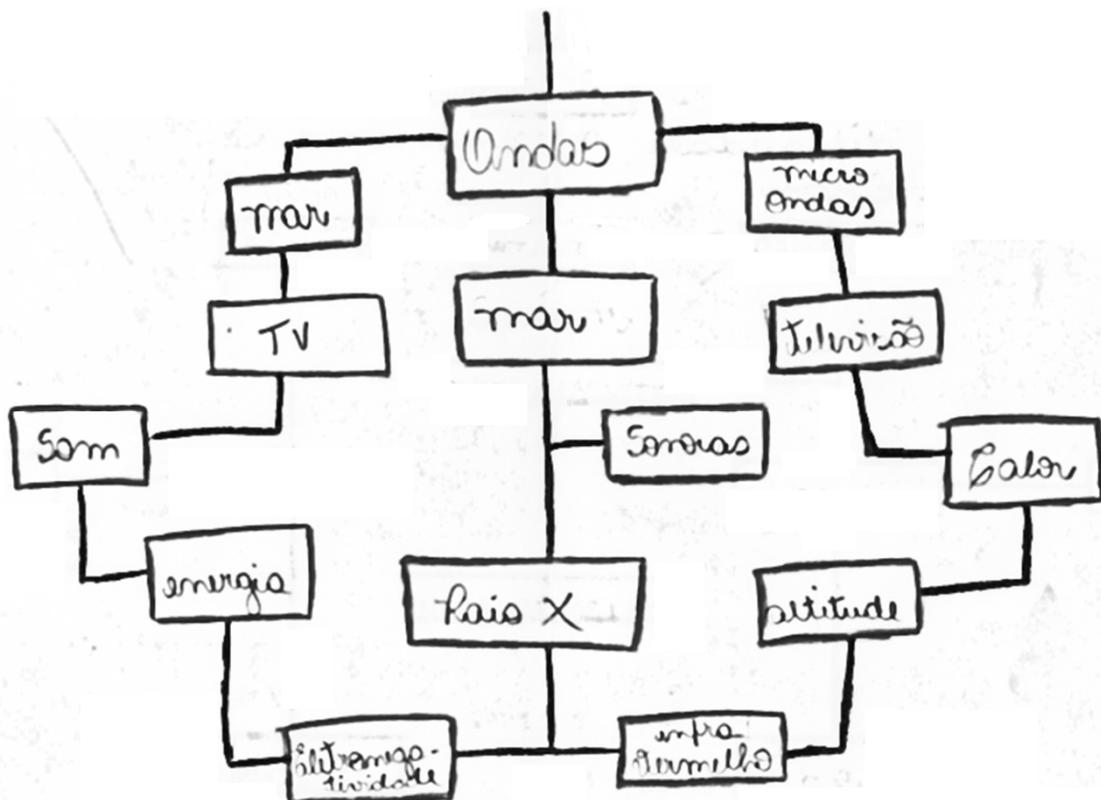


Figura 30: Mapa final 11

5 CONCLUSÃO

Na fase de levantamento dos conhecimentos prévios, utilizando o mapa conceitual inicial, foi possível realizara avaliação sobre a aprendizagem significativa e as relações significativas entre o conceito-chave da matéria (ondas), segundo o parâmetro dos estudantes e preceitos na organização dos seus conceitos.

Uma definição sobre a propagação das ondas mecânicas e eletromagnéticas (luz) foi obtida pelas questões em grupo e na turma. Esta fase propiciou, também, uma interação dos estudantes em equipes na sala de aula.

As aulas expositivas propiciaram a ampliação e sistematização de conhecimentos. O conteúdo abrangeu o todo o conceito de ondas mecânicas e eletromagnéticas, inclusive tópicos iniciais de ótica. Tomou-se o cuidado de utilizar os significados e relações significativas, obtidas pelo mapa conceitual inicial.

Os experimentos confeccionados e apresentados pelos alunos aprofundaram os conceitos estudados, mostraram exemplos de aplicações no dia-a-dia. Mostrou, também, que os experimentos podem ser de custo monetário pequeno e ao alcance de todos, até utilizando materiais recicláveis. Esta fase serviu, também, como termômetro para verificar a aprendizagem, tanto na escolha dos experimentos, quanto na apresentação.

A apresentação do espectrômetro em sala de aula trouxe uma visão tecnológica do conteúdo. Também serviu para aprofundar o conhecimento e mostrou que um equipamento científico, pode ser construído com peças de baixo custo.

O levantamento dos conhecimentos adquiridos foi feito através de mapas conceituais finais. Eles mostraram que houve uma organização dos conteúdos e, realmente, um processo de aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- APRH – Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. **Glossary: Interferência entre ondas**. 2007. Disponível em: <<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/interferondas.html>>. Acesso em: 17 out. 2018.
- ARAGÃO, Rosália Maria Ribeiro de. **Teoria da aprendizagem significativa de David P. Ausubel: sistematização dos aspectos teóricos fundamentais**. 101 f. Tese (Doutorado) - Ciências (Educação). UNICAMP: Campinas, 1976.
- AZEVEDO, Eduardo Ribeiro de; NUNES, Luiz Antônio de Oliveira. Construção de um espectrógrafo de projeção e sua utilização em demonstrações de espectroscopia óptica. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 2199-2204, 2008.
- BONJORNO, Jose Roberto; RAMOS, Clinton Márcico; ALVES, Luís Augusto. **Física: Termologia Óptica Ondulatória - Volume 2**. São Paulo: FTD, 2010. 416 p.
- BRASIL. Lei nº 9394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB)**. Brasília-DF, 1996.
- CHO, Jaehee et al. White light-emitting diodes: History, progress, and future. **Laser & Photonics Reviews**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.160-147, mar. 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/lpor.201600147>>. Acesso em: 8 out. 2018.
- COELHO, João de Vasconcellos. **Mecânica Quântica**. Cuiabá: EdUFMT, 1992.
- COLUCCI, Cesar Canesin; MURA, João; MELO, Mauricio Antonio Custodio de. **Física Geral II**. Maringá: EDUEM, 2009.
- CORDELLA. **Radiação, energias e onda**. 2009. Disponível em: <http://www.profcordella.com.br/unisanta/textos/fqa22_radiacao_energia_onda.htm>. Acesso em: 17 out. 2018.
- ELETRÔNICA PT. **LED: Díodo Emissor de Luz**. Disponível em: <<https://www.electronica-pt.com/led>>. Acesso em: 17 out. 2018.
- FILGUEIRAS, Carlos Alberto Fernandes. A Espectroscopia e a Química: da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. **Química Nova na Escola**. São Paulo, v. 3, n. 3, p.22-25, maio 1996.
- FRANCO, Leandro William. **Radiação UV: efeitos, riscos e benefícios à saúde humana - proposta de sequência didática para o ensino de física**. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Física. UNESP: Presidente Prudente-SP, 2018.
- GOMES, Marcos S. et al. Uso de scanner em espectrofotometria de absorção molecular: aplicação em experimento didático enfocando a determinação de ácido ascórbico. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1577-1581, 2008.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- HERSCHEL, William. XIV. Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the sun. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 90, p.284-292, jan. 1800.
- JARDIM, Vladimir; BARROS, José Antônio de Almeida. Inserção de física moderna no ensino médio: difração de um feixe laser. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 2, p. 154-169, jan. 1999. ISSN 2175-7941.
- LIMA, Maria Irlane Soares de. **Sequência didática em uma turma do 2º ano do ensino fundamental no município de João Pessoa: uma proposta de intervenção**. 69 f. Dissertação (Mestrado) Linguística e Ensino. UFPB: João Pessoa, 2014.

MAXWELL, J. Clerk. A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 155, p.459-512, jan. 1865.

MELDE, Franz Emil. Ueber die Erregung stehender Wellen eines fadenförmigen Körpers. **Annalen Der Physik Und Chemie**, v. 185, n. 2, p.193-215. 1860. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/andp.18601850202>>. Acesso em: 10 out. 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa em mapas conceituais. **Textos de Apoio Ao Professor de Física**, Porto Alegre-RS, v. 24, n. 6, 2013. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira_.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.

_____. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. **Cadernos de Aplicação**, Porto Alegre-RS, v. 11, n. 2, p.143-156, 1998. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2018.

_____. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, p.23-30, 2008. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/ORGANIZADORESport.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2018.

_____. Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. In: MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. p. 151-165.

MOREIRA, Marcos Antonio; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2006.

NEVES, José Luis. Pesquisa qualitativa: características, usos e possibilidades. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 3, p.1-5, set. 1996. Disponível em: <http://www.hugoribeiro.com.br/biblioteca-digital/NEVES-Pesquisa_Qualitativa.pdf>. Acesso em: 8 out. 2018.

NEWTON, Isaac. **Opticks: or, a treatise of the reflections, refractions, inflexions, and colours of light**. Londres: DoverPublication, 1704.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica - Volume 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 4. ed. São Paulo: Blücher, 2002.

OLIVEIRA, Fernando Arruda Mendes de; AZEVEDO, Eduardo Ribeiro de; NUNES, Luiz Antonio de Oliveira. O uso de um sensor de luz linear como recurso didático para demonstrar princípios de difração e espectroscopia. **Química Nova**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 451-458, mar. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v38n3/0100-4042-qn-38-03-0451.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2018.

PARENTE, Francisco Áureo Guerra; SANTOS, Antônio Carlos Fontes; TORT, Alexandre Carlos. Os 100 anos do átomo de Bohr. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 4, p.1-8, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n4/a01v35n4.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2018.

PELIZZARI, Adriana et al. Teoria da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel. **Revista PEC**, Curitiba, v. 2, n. 1, p.37-42, jul. 2002. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2018.

PERKAMPUS, Heinz-Helmut. **UV-VIS Spectroscopy and Its Applications**. Heidelberg: Springer Laboratory, 1992. 244 p. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-77477-5.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2018.

SANTOS, Erick Santana dos; MENEZES JUNIOR, Roberto dos Santos; SANTANA, Victor Mancir da Silva. Determinação experimental da constante de Planck pela observação da corrente de descarga de um capacitor. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Salvador, v. 32, n. 3, p.824-836, dez. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n3p824>>. Acesso em: 10 out. 2018.

SANTOS, Josiane Azevedo dos. **Sequência didática - O pensamento complexo no ensino de química: uma proposta de Trabalho**. 2017. Disponível em:

<<https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/5745/2/Produto%20Josiane%20Azevedo.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2018.

SCHEIDER, Walter. Bringing one of the great moments of science to the classroom. **The Physics Teacher**, [s.l.], v. 24, n. 4, p.217-219, abr. 1986.

SILVA, Luiz Pinheiro Cordovil da et al. Uso de diodos emissores de luz (LED) de potência em laboratório de Óptica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p.60-77, abr. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2014v31n1p60>>. Acesso em: 7 set. 2018.

SKOOG, Douglas Arvid et al. **Fundamentos de Química Analítica**. 8. ed. São Paulo: Pioneira, 2006. 1026 p.

STRINGASCI, Mirian Denise. **A Radiação do Corpo Negro e sua Influência sobre os Estados dos Átomos**. São Carlos: USP, 2011. Disponível em: <[http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2011-1_SFI5774_Mecanicaquantica/Seminario - Mirian - Radiacao do corpo negro.pdf](http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2011-1_SFI5774_Mecanicaquantica/Seminario-Mirian-Radiacao-do-corpo-negro.pdf)>. Acesso em: 18 out. 2018.

THINGLINK. **Espetro Eletromagnético**. 2015. Disponível em: <<https://www.thinglink.com/scene/658001691748073473>>. Acesso em: 17 out. 2018.

TREVISAN, Marcello Garcia; POPPI, Ronei Jesus. Química Analítica de Processos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 5, p.1065-1071, out. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n5/31072.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2018.

UFRS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Teoria da Aprendizagem Significativa: Ausubel**. 2009. Disponível em: <<http://penta2.ufrgs.br/edu/objetivo/ausubel.html>>. Acesso em: 17 out. 2018.

UOL Alunos online. **A teoria quântica**. 2018. Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/fisica/fisica-quantica.html>>. Acesso em: 17 out. 2018.

WIKIPÉDIA. **Refração**. 2018. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Refração>>. Acesso em: 17 out. 2018.

YOUNG, Thomas. The Bakerian Lecture: On the Theory of Light and Colours. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 92, p.12-48, jan. 1802.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998. p. 224.

ANEXO A

EXPERIMENTOS APRESENTADOS PELOS ESTUDANTES

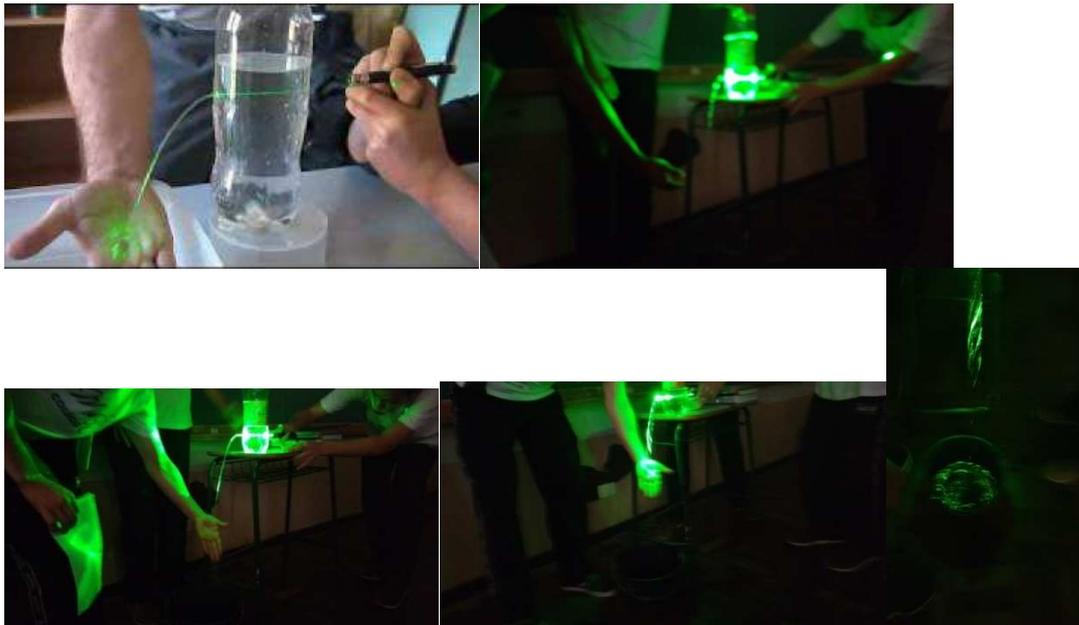
<p>Nome do experimento: Caleidoscópio</p>
<p>Objetivo: Através de reflexões múltiplas, pode originar belas imagens dentro de um caleidoscópio.</p>
<p>Descrição sucinta: Caleidoscópio significa “vejo belas imagens”. É um instrumento de ótica cilíndrico cujo fundo é de vidro opaco. No interior desse tubo há fragmentos de vidro colorido e três espelhos inclinados entre si. Quando a luz exterior incide, gira-se o tubo com a mão, os reflexos dos espelhos, multiplicam-se dando lugar a desenhos simétricos diferentes.</p> <p>O caleidoscópio moderno é formado por um pequeno tubo, no fundo do qual há pedaços coloridos de vidro ou de outro material e três espelhos que ao movimentar o tubo, onde com alguns ângulos entre os três espelhos imagens duplicadas. O caleidoscópio foi inventado para estudos científicos. Hoje é utilizado por desenhistas, decoradores e bordadeiras em seus trabalhos.</p>
<p>Fotos:</p>
<p>Turmas: As três turmas do segundo ano realizaram este experimento.</p>
<p>Referência: http://fabricadebrinquedos.com.br/brinquedos/Caleidoscopio.html https://www.infoescola.com/optica/caleidoscopio</p>

Nome do experimento: Como fazer a luz viajar em curva

Objetivo: É verificar, que a luz percorre um caminho, como na fibra óptica

Descrição sucinta: Um fenômeno associado à luz é o fato de que podemos fazer com que esta onda eletromagnética desvie para onde desejarmos, basta que possamos refleti-la. A luz quando percorre o interior do fio de água, vai sofrendo várias reflexões sucessivas, sempre que se aproxima da superfície que separa a água do ar. Comporta-se exatamente da mesma forma que a luz quando viaja no interior da fibra óptica.

Fotos:



Turmas: As três turmas realizaram este experimento

Referência:

http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=_pmd2005_i3002

Nome do experimento: Direção de propagação
Objetivo: Entender como as ondas se propagam
Descrição sucinta: Palitos de espeto de madeira com bolinhas de isopor, presas a uma fita extensa de papel. O experimento mostra ondas unidimensionais longitudinais e transversais.
Foto 
Turmas: Este experimento foi realizado apenas na turma C
Referência: https://www.ufrb.edu.br/pibid/documentos/category/6-apostilas?download=28:2-fenomenos-ondulatorios

Nome do experimento: Disco de Newton
Objetivo: Perceber que a luz branca é composta de diversas cores
Descrição sucinta: Um disco pintado com diversas cores, como o vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta é colocado a girar, fazendo com que haja a mistura das diversas cores, e formando a cor branca. Este efeito foi observado por Newton.
Fotos: 
Turmas: As três turmas do segundo ano realizaram este experimento
Referência: http://www.ufjf.br/fisicaecidadania/aprendendo-e-ensinando/brincando-com-a-fisica/disco-de-newton

Nome do experimento: Dispersão da luz

Objetivo: Mostrar que a luz branca pode ser decomposta através de uma grade de difração (CD ou DVD) em feixes de várias cores, as cores do arco-íris

Descrição sucinta: A luz quando passa por uma grade de difração, devido à diferença do caminho óptico e a interferência construtiva, é decomposta e diversas cores. Foi usado um CD ou DVD retirando a película superior.

Fotos:

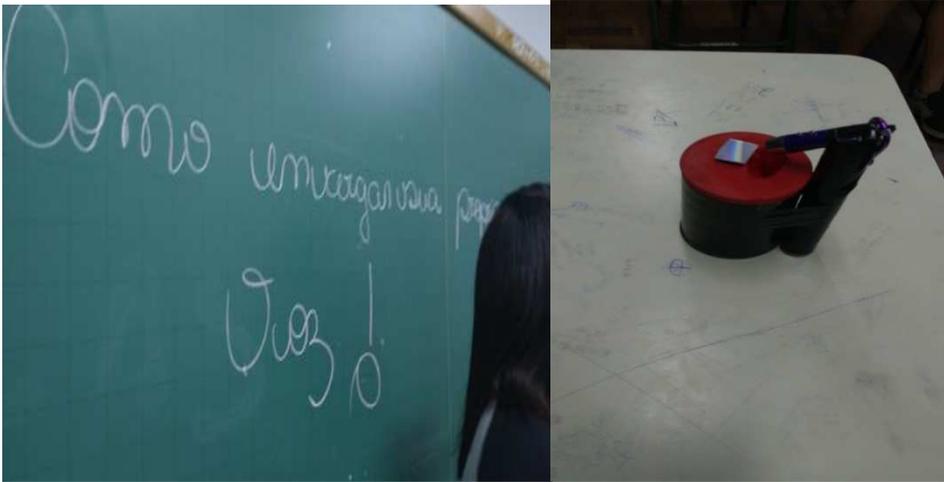


Turmas: As três turmas realizaram este experimento

Referência:

<http://fisicanoja.blogspot.com/2009/10/9-dispersao-da-luz.htm>

<https://www.infoescola.com/optica/dispersao-da-luz>

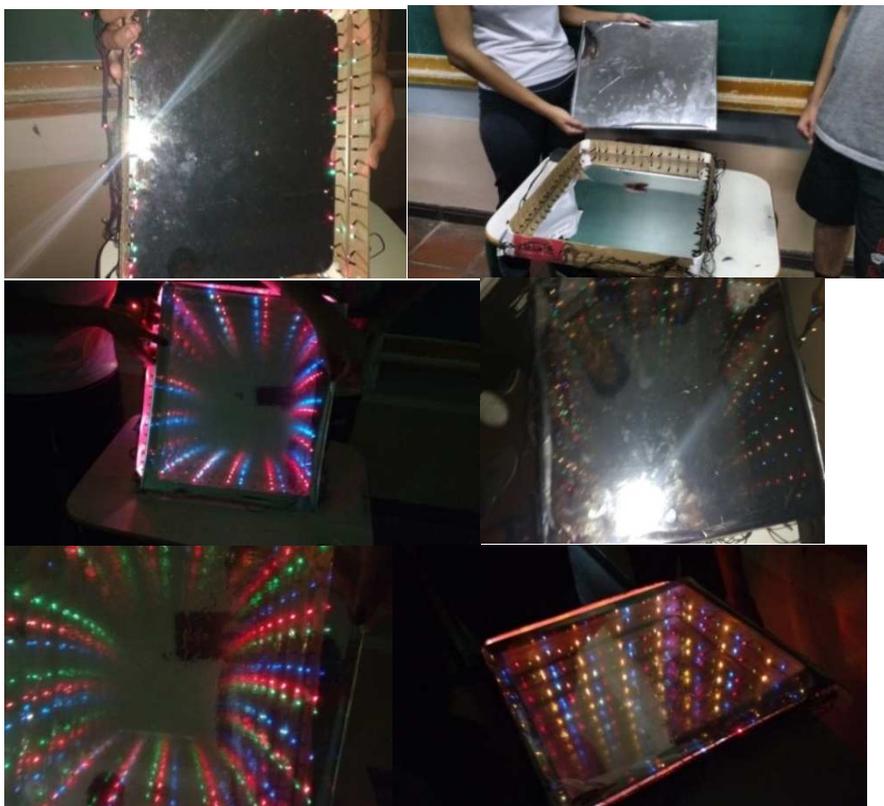
Nome do experimento: Observando as ondas
Objetivo: Visualização do som
Descrição sucinta: Uma lata com uma membrana de borracha (balão, bexiga), com um espelho (ou papel alumínio) colada nesta membrana. A luz de uma lanterna reflete no espelho e cria uma imagem na parede. Quando o som incide sobre a membrana, fazendo-o vibrar, a imagem na parede muda.
Fotos: 
Turmas: Apenas a turma C realizou este experimento
Referência: https://www.youtube.com/watch?v=wDF48ZTIHMA https://helpx.adobe.com/br/after-effects/using/previewing.html

Nome do experimento: Espelho infinito

Objetivo: Será mostrar a formação de imagens infinitas colocando-se um espelho e semi-espelho em paralelo numa câmara

Descrição sucinta: O espelho infinito consiste basicamente de um espelho (papel alumínio), semi-espelho (insulfilm) e uma fonte de luz dentro dessa câmara, para que ocorra o efeito das imagens infinitas. Inicialmente foi cortado o espelho e um vidro do mesmo tamanho, e então aplicado sobre o vidro um filme que reflete boa parte da luz conhecido popularmente como insulfilm, transformando-o num semi-espelho, pois agora ele possui a propriedade de refletir parte da luz e a outra ele deixa passar, ou seja, agindo como um espelho e vidro. Utilizou-se um conjunto de lâmpadas natalinas coladas na parte interna da câmara.

Fotos:



Turmas: As três turmas do segundo ano realizaram este experimento

Referência:

<https://pt.wikihow.com/Fazer-um-Espelho-Infinito>

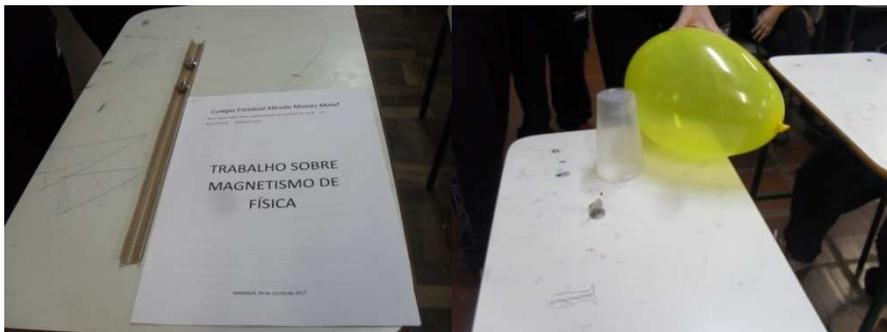
https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2010/NewtonS_Costa_

Nome do experimento: Magnetismo, cargas eletrostáticas e caneca assustada

Objetivo: Aqui se estudou o magnetismo e carga eletrostática e ainda tentaram demonstrar ondas com o experimento da caneca assustada, onde fugiu do nosso objetivo, mas foi experiência apresentado pelos alunos

Descrição sucinta: Uma equipe apresentou o efeito de repulsão e atração de ímãs permanentes. Outra equipe, utilizando um balão, fez experimentos de eletrostática. Uma porca e uma caneca ligados a um fio, passando por um lápis, onde a porca, quando solta faz um movimento de um pêndulo. Como o fio diminuiu, com a queda da caneca, a energia do sistema pêndulo é suficiente para que a porca faça diversas voltas no lápis, segurando a caneca.

Fotos:



Turmas: Aqui foi um experimento de cada turma, onde a turma A apresentou o magnetismo, a turma B apresentou uma experiência de eletrostática e a turma C apresentou a caneca assustada, que é uma experiência de mecânica

Referência:

<https://www.manualdomundo.com.br/2015/03/experimento-da-caneca-assustada>

<https://www.manualdomundo.com.br/tag/experiencias-fisica-eletricidade-magnetismo/>

Nome do experimento: Ondas eletromagnéticas
Objetivo: provar que a onda eletromagnética tem um componente de campo elétrico
Descrição sucinta: O celular emite e recebe ondas eletromagnéticas para que haja sinal. Nesta atividade iremos investigar qual é o comportamento do sinal de um celular quando isolado através de diferentes materiais como, por exemplo, folha de papel e folha de papel alumínio. Este experimento discute absorção do campo elétrico da onda eletromagnética por um material condutor.
Fotos: 
Turmas: As turmas A e C apresentaram as experiências de ondas eletromagnéticas e magnetismo
Referência: http://pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/celular-fora-de-area/750

Nome do experimento: Ondas mecânicas
Objetivo: Comparar as ondas mecânicas com o efeito de uma corda
Descrição sucinta: Em Física, uma onda é uma perturbação oscilante de alguma grandeza física no espaço e periódica no tempo. A oscilação espacial é caracterizada pelo comprimento de ondas e a periodicidade no tempo é medida pela frequência da onda, que é o inverso do seu período. Estas duas grandezas estão relacionadas pela velocidade de propagação da onda. Ondas em uma corda (você balança a mão para cima e para baixo para gerar as ondas na corda).
Fotos: 
Turmas: Duas turmas apresentaram este experimento
Referência: https://pt.khanacademy.org/science/physics/mechanical-waves-and-sound

Nome do experimento: Ondas sonoras

Objetivo: Estudar as ondas mecânicas com o efeito de uma corda de um violão

Descrição sucinta: Uma onda é uma perturbação oscilante de alguma grandeza física no espaço e periódica no tempo. A oscilação espacial é caracterizada pelo comprimento de ondas e a periodicidade no tempo é medida pela frequência da onda, que é o inverso do seu período. Estas duas grandezas estão relacionadas pela velocidade de propagação da onda.

Fotos:



Turmas: Duas turmas apresentaram a experiência com as cordas dos violões, com o som sendo emitido e as várias cordas

Referência:

<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=ondas-estacionarias-na-corda-do-violao>.

Nome do experimento: Refração da luz
Objetivo: Observar a trajetória de um raio sendo refratado, estudo de lente
Descrição sucinta: Com o auxílio de um pote de vidro de compota/azeitona, é possível mostrar que os raios de luz alteram seu curso ao atravessar vidro e água. Esta alteração dos raios depende do ângulo para sejam desviados.
Fotos: 
Turmas: As três turmas realizaram este experimento
Referência: https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=como-se-explica-a-inversao-da-seta-quando-agua-e-colocad.a-no-copo

ANEXO B

**COLÉGIO ESTADUAL ALFREDO MOISÉS MALUF**
ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO

Rua Arlindo Marquezini, nº 654 – Conjunto Hermann Moraes de Barros

Fone: 3263- 6867 – CEP: 87023-180 – Maringá, Paraná

mgaalfredomoises@seed.pr.gov.br

Ofício n.º 37/2017

Maringá, 17 de maio de 2017.

Prezado Senhor:

Em resposta à solicitação formulada pelo Mestrando Donizete Torres de Moraes da MNPEF/UEM para aplicar a pesquisa intitulada “**Ondas eletromagnéticas via acesso Remoto na Perspectiva da Aprendizagem Significativa**” em nossa Instituição de Ensino, a direção do Colégio Estadual Alfredo Moisés Maluf vem autorizar a aplicação da referida pesquisa, conforme o solicitado.

Atenciosamente,

Geraldo Trabuco
Diretor - RG: 1.430.823-7
Res.347/17 – D.O.E.10/02/2017

Ilmo. Sr.
Donizete Torres de Moraes
Mestrando MNPEF/UEM
Maringá – PR

ANEXO C**TERMO DE AUTORIZAÇÃO DA ESCOLA**

Maringá, 10 de maio de 2017

Ilmo Sr
GERALDO TRABUCO

Eu, Donizete Torres de Moraes, mestrando do Curso de mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física-MNPEF, da universidade Estadual de Maringá-UEM, venho por meio desta, solicitar a vossa autorização para realizar a pesquisa intitulada **“Ondas eletromagnéticas via acesso Remoto na Perspectiva da Aprendizagem Significativa”**. O objetivo do estudo é avaliar como os alunos aprendem de forma significativa, a física usando a forma empírica o conteúdo das ondas mecânica e eletromagnética.

Na oportunidade, informamos que faz parte da disciplina, onde é uma aplicação da teoria de aprendizagem de Ausebel.

Queremos informar que em caráter ético desta pesquisa assegura a preservação da identidade das pessoas participantes sem ônus e com caráter voluntario do participante.

Agradecemos a vossa compreensão e colaboração no processo de desenvolvimento deste futuro profissional. Em caso de dúvida pode procurar os pesquisadores do MNPEF/UEM Prof. DR. Maurício A. Custódio de Melo (orientador) ou Donizete Torres de Moraes (mestrando) pelo telefone: (44)991033653 ou pelo email: donizete2012@gmail.com



Donizete Torres de Moraes

APÊNDICE



DONIZETE TORRES DE MORAIS

PRODUTO EDUCACIONAL:

**ESTUDO DE ONDAS NA PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA COM A CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTRÔMETRO**

Este produto educacional compõe o trabalho de Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM – como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio A. Custodio de Melo

MARINGÁ

2018

PRODUTO EDUCACIONAL

CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTRÔMETRO PARA EXPERIMENTOS NO ENSINO MÉDIO

Donizete Torres de Moraes

RESUMO

Um espectrômetro simples e confeccionado com materiais de baixo custo foi construído para experimentos de espectroscopia introdutória. Foi utilizado um LED branco como fonte de luz primária, uma grade de difração, e um detector linear assistido por uma placa Arduino, que envia os resultados para serem mostrados em um computador. Mudando os absorvedores, localizados entre a fonte de luz primária e a grade de difração, foi possível discutir com os alunos o espectro eletromagnético da luz visível e a emissão de luz do LED branco. O experimento contribui para promover a aprendizagem significativa dos alunos de conceitos introdutórios sobre ondas. Salientando que a presente montagem experimental tem potencial para outros experimentos de física, química e biologia.

Palavras-chave: Espectrômetro. Luz. Espectro Eletromagnético. Arduino. LED.

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno de decomposição da luz é observado na natureza desde a antiguidade, por exemplo, no arco-íris. O entendimento moderno da luz e da cor principia com Isaac Newton (1642-1726) com uma série de experimentos que o mesmo publica em 1672 (SILVA; MARTINS, 1996). Newton é o primeiro a compreender o arco-íris. Ele refrata a luz branca com um prisma, dividindo em suas cores componentes: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta.

O espectrômetro é um instrumento que utiliza o princípio de decomposição da luz nas diversas cores componentes, normalmente com um prisma ou grade de difração, e mede a intensidade de cada cor (OLIVEIRA; AZEVEDO; NEVES, 2015; AZEVEDO; NUNES, 2008). Os espectrômetros foram desenvolvidos em estudos iniciais de física, astronomia e química. A capacidade da espectroscopia para determinar a composição química impulsionou seu avanço e continua sendo um dos seus principais usos. Os espectrômetros são usados em astronomia para analisar a composição química de estrelas e planetas.

A luz é uma onda eletromagnética e cada cor é caracterizada pelo comprimento de onda λ , onde a dimensão é dada normalmente em nanômetros nm. A luz apresenta a propriedade de interagir com a matéria, sendo que parte de sua energia é absorvida por elétrons da eletrosfera dos átomos constituintes das moléculas. Uma solução aquosa quando iluminada por luz branca, apresenta uma cor que é resultante da absorção relativa dos vários comprimentos de onda que a compõem. Esta absorção, em cada comprimento de onda, depende da natureza da substância, de sua concentração e da espessura da mesma que é atravessada pela luz.

Assim, com um espectrômetro, pode-se medir intensidade, absorvência, transmitância e também a fluorescência da luz, tornando-a uma ferramenta poderosa e intuitiva. Assim, como anteriormente citado, a espectrometria tem aplicações em diversas áreas do conhecimento. Na química, por exemplo, o uso da Lei de Lambert-Beer (concentração e absorvência, que será visto mais tarde) pode acompanhar a cinética de reações químicas, medidas dos espectros de absorvência e transmitância. Na biologia, por exemplo, medida do teor de lactose em amostra de leite, acompanhar o processo de Fotossíntese com DPIP *dicloro indol acético*, medidas de espectros de absorção de pigmentos de plantas e de concentração de proteínas em solução, avaliações de taxa de reações catalisadas por enzimas e estimativas do crescimento de culturas celulares (MOURA et al., 2010). Na física, por exemplo, identificação do átomo que emite luz (SALA, 2007) e medidas de temperatura da fonte de luz.

Neste projeto, o espectrômetro foi projetado especificamente para experimentos de espectroscopia introdutória. Utiliza um LED branco como fonte de luz primária, uma grade de difração e um detector linear assistido por uma placa Arduino, que envia os resultados para serem mostrados em um computador.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESPECTRO VISÍVEL

A luz visível é a faixa do espectro eletromagnético que é aparente para o olho humano. Esta faixa baseia-se em transições eletrônicas intra-atômicas ou

moleculares (TREVISAN; POPPI, 2006). A radiação eletromagnética nesta faixa de comprimentos de onda é chamada de luz visível ou simplesmente de luz. Um olho humano típico responderá a comprimentos de onda λ de cerca de 390 a 700 nm (Figura 1). Isso corresponde a uma faixa de frequência ν na proximidade de 430-770 THz.

O espectro, no entanto, não contém todas as cores que os olhos humanos e o cérebro podem distinguir. As cores não saturadas, como as variações rosa ou roxas, como a magenta, estão ausentes, por exemplo, porque elas podem ser feitas por uma combinação de múltiplos comprimentos de onda. As cores que contêm apenas um comprimento de onda também são chamadas de cores puras ou cores espectrais.

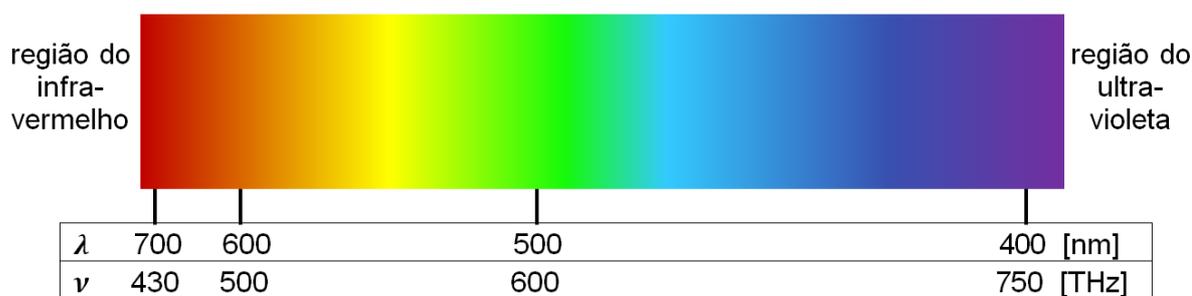


Figura 1: Espectro visível da luz em função do comprimento de onda λ e da frequência ν

2.2 DIFRAÇÃO DA LUZ

A grade de difração é um componente óptico que contém uma série de ranhuras, paralelas e muito próximas entre si. A difração em uma grade de difração pode ser explicada usando a experiência da dupla fenda de Thomas Young. Quando uma onda é difratada por duas fendas, o padrão em um anteparo é uma mistura de interferências construtivas e destrutivas (JARDIM; BARROS, 1999). Usando o princípio de Huygens, em que cada ponto de uma frente de onda possui a funcionalidade de uma nova fonte pontual, as fendas funcionam com uma fonte pontual de luz. O comprimento de onda λ e a diferença entre o caminho Δd , mostrado na Figura 2, determina interferência construtiva em determinado ângulo, que obedece a seguinte relação: $n\lambda = L \sin \theta$, onde L é a distância entre as duas fendas e $n = 1, 2, 3, \dots$. Paratrês ou mais fendas, que é o caso da grade de difração, a relação anterior é mesma.

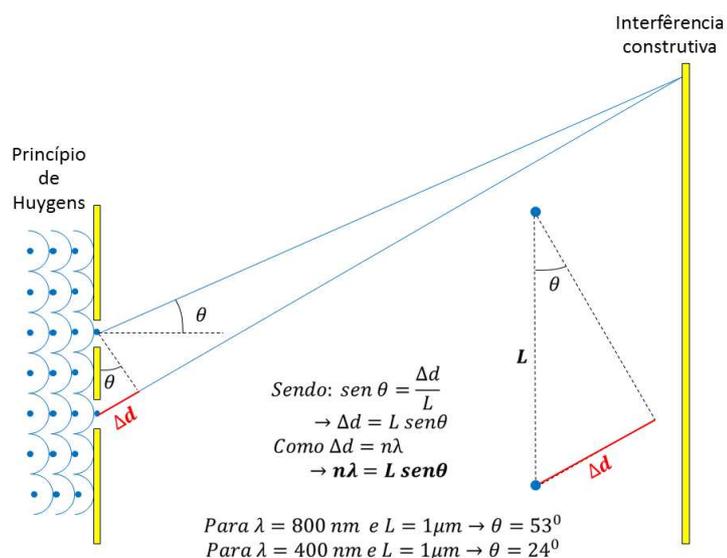


Figura 2: Experimento de duas fendas de Young

2.3 LED

O LED é constituído de uma junção de dois materiais, um denominado de P, que contém lacunas de carga (falta de elétrons) e outro que contém cargas negativas (excesso de elétrons) (SILVA et al., 2014 e SANTOS; MENEZES; SANTANA, 2015). Quando a junção P-N é submetida a uma diferença de potencial correta, os elétrons e as lacunas se movimentam em direção da junção. Assim, a combinação entre estes elementos resulta na emissão de fótons, como é visto na Figura 3.

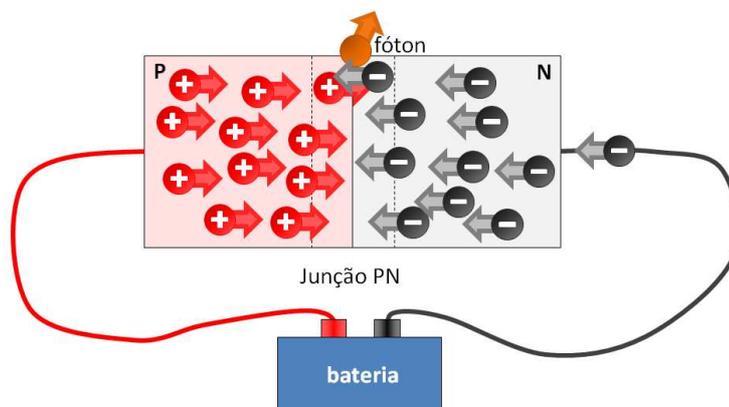


Figura 3: Processo de emissão de luz por um LED

Quando comparado com as lâmpadas convencionais, o LED apresenta algumas vantagens, por exemplo, alto brilho e intensidade, elevada eficiência, acendimento instantâneo, robustez física, elevada vida útil, são compactos e,

finalmente, operação em baixa tensão e corrente, permitindo, assim, o uso de das tensões do direto do conector USB do computador, como foi usado em nosso trabalho.

Os diodos emissores de luzes brancas são geralmente LEDs totalmente azuis de InGaN com um revestimento na parte superior de um material adequado (CHO et al., 2017). O revestimento usado com frequência é o oxido granada de Ítrio e Alumínio (YAG) dopado com cério (fórmula $Ce^{3+}:Y_3Al_5O_{12}$ ou simplesmente $Ce^{3+}:YAG$). Este revestimento absorve a luz do LED azul e emite uma ampla gama de luz do esverdeado ao avermelhado (Figura 01), com a maior parte da emissão em amarelo. Esta emissão amarela combinada com a emissão azul resultara na luz "branca". A luz mais amarelada é o branco quente e a luz mais azulada é o branco frio. Assim, a temperatura da cor é designada por este ajuste entre a quantidade do amarelo e o azul. A emissão de amarelo pálido do $Ce^{3+}:YAG$ pode ser ajustada substituindo o cério por outros elementos de terras raras, como térbio e gadolínio, podendo ainda ser ajustada por substituição de gálio em parte ou a totalidade do alumínio no YAG. No entanto, este processo não é uma fosforescência. A luz amarela é produzida por um processo conhecido como cintilação, sendo a ausência completa de uma pós-iluminação, é uma das características do processo.

2.4 A LEI DE LAMBERT-BEER

A Lei de Lambert-Beer diz que a absorbância é proporcional à concentração da espécie química absorvente, sendo constante o comprimento de onda, a espessura atravessada pelo feixe luminoso e outros demais fatores. Verifica-se uma relação linear entre absorbância ou densidade ótica e concentração, e de uma relação logarítmica entre transmitância e concentração.

A lei Lambert-Beer constitui assim a base matemática-física das medidas de absorção de luz em gases e soluções na região ultra violeta, visível e infravermelho (PERKAMPUS, 1992), a absorbância A_λ é dada por: $A_\lambda = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \varepsilon_\lambda cd$, onde I_0 é a intensidade sem amostra, I é a intensidade com amostra ε_λ é coeficiente de extinção, c é a concentração da amostra e d é o comprimento da amostra. O

importante aqui, primeiramente, é que a absorvência é diretamente proporcional a concentraçã da soluçã de amostra.

O coeficiente de extinçã ϵ_λ é uma quantidade característica da substância que também depende do comprimento de onda λ , assim a absorvência A_λ também depende do comprimento de onda. A correlaçã entre ϵ_λ e o comprimento de onda λ é chamada de "espectro de absorçã" de um determinado composto.

Vale a pena lembrar que a lei de Lambert-Beer é uma lei limitada para soluções diluídas, ou seja, a afirmativa de que o coeficiente de extinçã ϵ_λ não é dependente da concentraçã de uma substância para um determinado comprimento de onda λ aplica-se apenas a soluções diluídas. O termo ϵ_λ não é mais constante para soluções concentradas, mas depende ainda do índice de refraçã da soluçã.

3 MATERIAL UTILIZADO

- Um sensor de luz linear TSL1402R: consiste em duas seções de 128 fotodiodos cada, somando até 256 pixels. O sensor TSL1402 pode ser trocado pelo CCD TCD1201d ou TCD1304AP;
- Uma placa Arduino Uno;
- Duas chaves momentâneas de embutir (*push button*): chaves usadas para informar o programa se a medida é do espectro sem amostra e com amostra;
- Uma chave liga desliga de embutir: ligar e desligar o LED branco;
- Folha de grade de difraçã 1000 linhas/mm (Diffraction Grating sheet 1000 lines/mm) 15x30 cm ou pedaço de um DVD;
- Um computador com o software Arduino IDE (1.6.7 ou maior) instalado (já vem com o plotter serial);
- Cabos (fios) de ligaçã;
- Diversas cubetas descartáveis de plástico para espectrofotômetro;
- Líquidos com corantes de diversas cores.

O elemento da montagem experimental mais caro é o sensor de luz linear, que custa cerca de 10 a 20 dólares. A folha inteira da grade de difraçã custa cerca de 8 dólares, mais é utilizado um pedacinho pequeno (também pode ser substituída

por um pedaço de um DVD). A placa Arduino Uno pode ser adquirida facilmente no mercado nacional por cerca de R\$ 50,00.

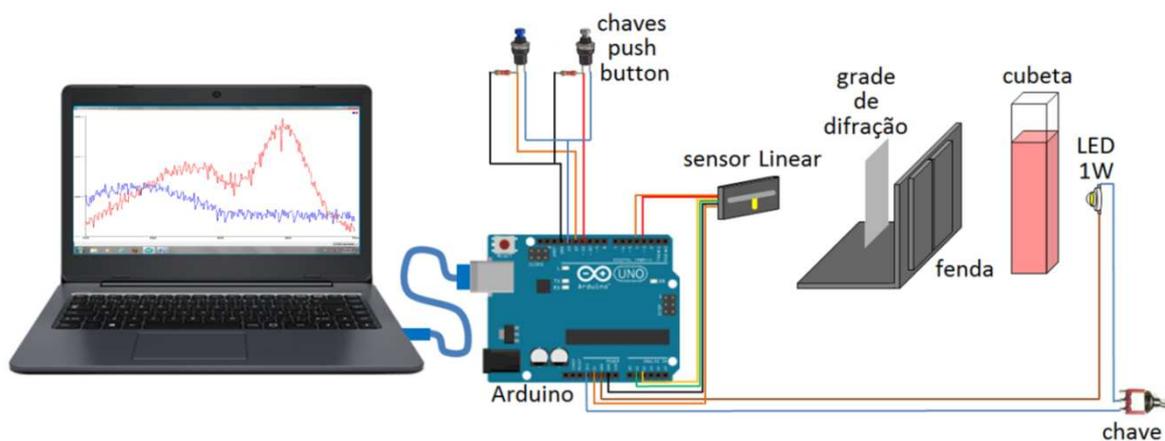


Figura 4: Esquema da montagem experimental (as ligações no sensor linear estão no texto)

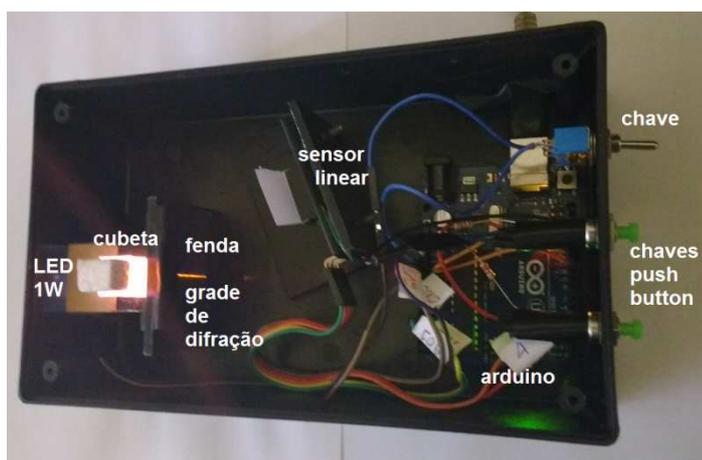


Figura 5: Montagem experimental dentro de uma caixa (para mostrar o arranjo experimental, o tampo da caixa foi colocado só durante a aquisição do espectro)

4 MONTAGEM EXPERIMENTAL

A eletrônica da montagem experimental pode ser dividida em três partes (Figura 4 e 5). A primeira é fonte de luz primária, onde temos um LED branco de 1W de potência e uma chave liga/desliga ligada a 3,3 V e o terra (GND) da placa Arduino. A segunda parte é a ligação do sensor de luz linear TSL1402 ao Arduino, onde temos as seguintes ligações:

- +5 Volt para o pino 1 do sensor (VDD)
- Terra GND para o pino 5 e o pino 12 do sensor
- Pino analógico A1 para o pino 4 do sensor

- Pino analógico A2 ao pino 8 do sensor
- Pino digital 4 ao pino 3 do sensor
- Pino digital 5 para o pino 2 do sensor
- Pin 2 do sensor para o pino 10 do sensor
- Um capacitor de 0,1 μF , que deve ser conectado entre VDD e terra GND o mais próximo possível do sensor.

A terceira parte da eletrônica são as duas chaves *push button*, que tem a função de informar o programa sob o iniciar a coleta de dados dos espectros sem e com amostra na cubeta.

A parte física de sustentação dos diferentes dispositivos foi feita de alumínio (outros materiais podem ser usados). A fenda foi construída com duas placas de alumínio colocadas justapostas com uma folha de papel entre elas, que depois de fixas com cola, a folha de papel foi retirada.

Todos os dispositivos foram colados em uma caixa preta de eletrônica de dimensões 11×19×5 cm. A tampa da caixa não foi fixada, possibilitando a visão do funcionamento da montagem experimental. Uma folha de espuma vinílica acetinada (EVA) 4 mm preto foi utilizada para impedir que luz refletida chegasse ao sensor.

O software de controle foi montado e é apresentado no apêndice deste trabalho. Os resultados experimentais, os espectros, foram mostrados diretamente no Plotter Serial do próprio *software* IDE Arduino (>Ferramentas>Plotter serial), o que facilitou o trabalho. Além disso, o uso do computador facilitou a visualização dos espectros pelos alunos via projetor multimídia *data show*.

Através da luz que passa pela fenda e o detector analisa a onda e a coloração obtida na cubeta com coloração diferente o arduíno transfere para o computador, fazendo assim a leitura da coloração do líquido colocado para ser analisado.

5 RESULTADOS

A montagem experimental foi apresentada a três turmas de alunos do segundo ano do Ensino Médio em uma Escola Pública da Maringá. O professor da turma já tinha trabalhado com o conteúdo de ondas e do espectro eletromagnético. Como a operação da montagem é simples e robusta, uma chave para ligar a fonte

de luz, uma chave para fazer o espectro sem amostra e uma chave para fazer o espectro com amostra, os alunos é que operaram a montagem experimental.

Para isso, foram disponibilizadas cinco cubetas, uma sem amostra, e as outras com água com corante vermelho, amarelo, verde e azul (Figura 06). Os alunos em grupos de 5 ou 6 alunos fizeram a troca das amostras (cubetas) aleatoriamente, obtendo os espectros, conforme mostrado na Figura 07, e constataram as regiões no espectro referentes às diferentes cores. Uma comparação natural dos resultados com o espectro eletromagnético da Luz, mostrado na Figura 1, foi obtida. Depois foi explicada a luz branca do LED.

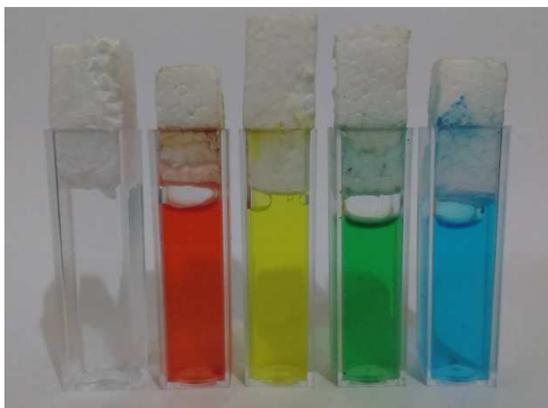


Figura 06: Cubetas utilizadas no experimento

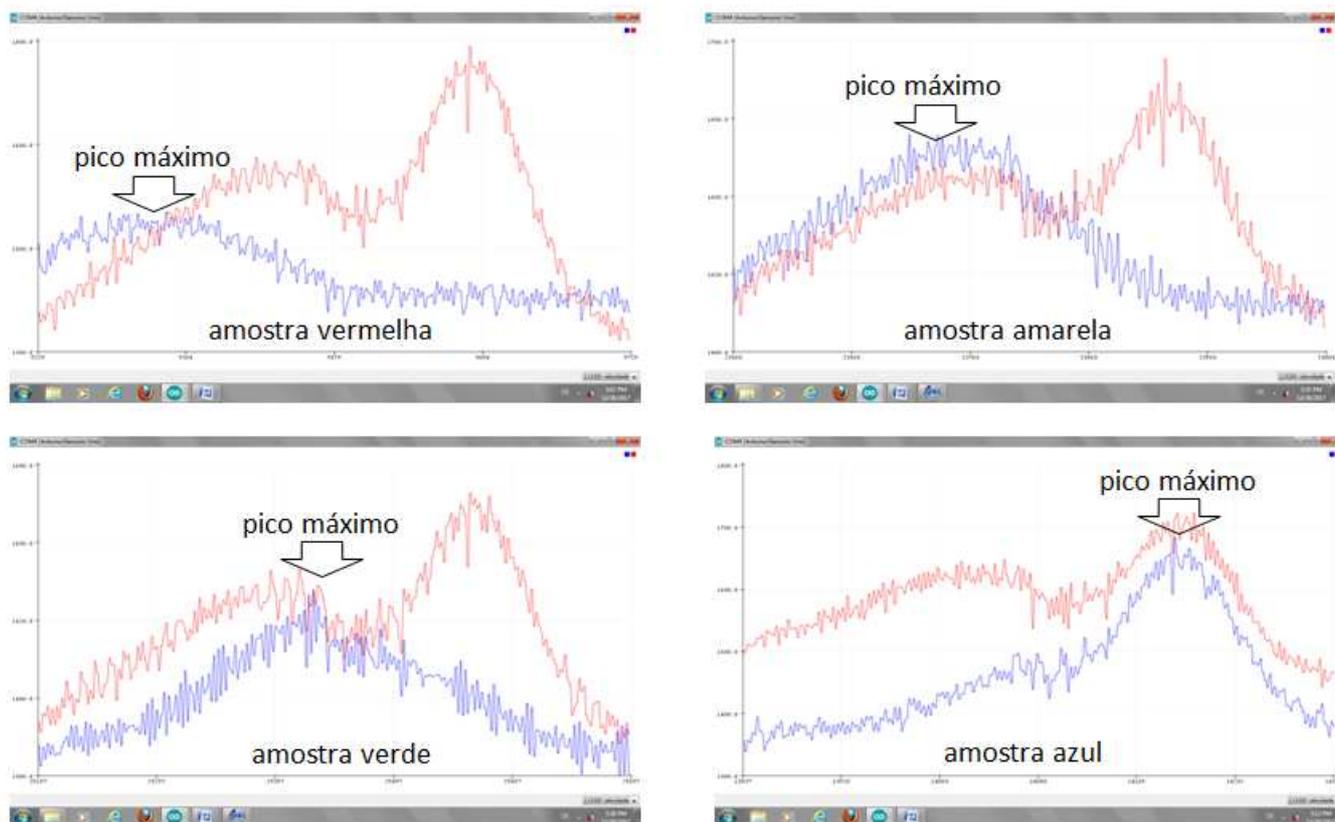


Figura 07: Print Screen da tela do computador (a linha vermelha corresponde a espectro sem amostra e a azul com amostras. Pela mudança da posição do pico máximo pode-se determinar a região de cada cor)

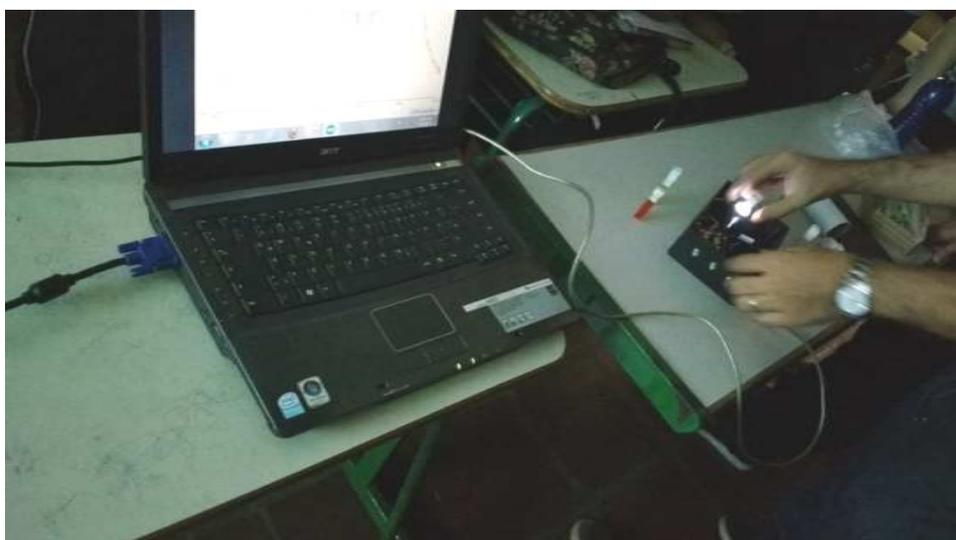


Figura 08: Apresentação do espectrômetro em sala de aula

6 CONCLUSÃO

A montagem experimental possibilita diferenciar as regiões de luz vermelha, amarela, verde e azul e comparar os resultados com o espectro eletromagnético da

luz. O espectro sem amostra, inicialmente utilizado para comparar as diferentes absorções, foi depois usado para explicar a emissão de um LED branco. A montagem experimental foi simplesmente utilizada para o estudo de ondas na física, o espectro eletromagnético de luz visível, até este momento, mais existe um potencial enorme de experimentos possíveis na própria física, na química e na biologia.

A plataforma Arduino permite mudanças rápidas no experimento, como, por exemplo, a linearização do espectro sem amostra, permitindo ver melhor as absorbâncias dos materiais, principalmente em experimentos de química e biologia.

Como já citado, o estudo das propriedades microscópicas de sólidos, líquidos e gases, pode ser realizado pela informação da interação da luz com a matéria, isto é, com o uso de um espectrômetro. As técnicas espectroscópicas são empregadas em diferentes aplicações científicas e tecnológicas.

7 REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Eduardo Ribeiro de; NUNES, Luiz Antônio de Oliveira. Construção de um espectrógrafo de projeção e sua utilização em demonstrações de espectroscopia óptica. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 8, p. 2199-2204, 2008.

JARDIM, Vladimir; BARROS, José Antônio de Almeida. Inserção de física moderna no ensino médio: difração de um feixe laser. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 2, p. 154-169, jan. 1999. ISSN 2175-7941.

CHO, Jaehee et al. White light-emitting diodes: History, progress, and future. **Laser & Photonics Reviews**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.160-147, mar. 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/lpor.201600147>>. Acesso em: 8 out. 2018.

MOURA, Daniel Shereret al. **Roteiro de Aulas Práticas**. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz": Piracicaba, 2010.

OLIVEIRA, Fernando Arruda Mendes de; AZEVEDO, Eduardo Ribeiro de; NUNES, Luiz Antonio de Oliveira. O uso de um sensor de luz linear como recurso didático para demonstrar princípios de difração e espectroscopia. **Química Nova**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 451-458, mar. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v38n3/0100-4042-qn-38-03-0451.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2018.

PERKAMPUS, Heinz-Helmut. **UV-VIS Spectroscopy and Its Applications**. Heidelberg: Springer Laboratory, 1992. 244 p. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-77477-5.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2018.

SILVA, Luiz Pinheiro Cordovil da et al. Uso de diodos emissores de luz (LED) de potência em laboratório de Óptica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p.60-77,

abr. 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2014v31n1p60>>. Acesso em: 7 set. 2018.

SALA, Oswaldo. Uma introdução à espectroscopia atômica: o átomo de hidrogênio. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 7, p. 1773-1775, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000700048&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 8 set. 2018.

SANTOS, Erick Santana dos; MENEZES JUNIOR, Roberto dos Santos; SANTANA, Victor Mancir da Silva. Determinação experimental da constante de Planck pela observação da corrente de descarga de um capacitor. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Salvador, v. 32, n. 3, p.824-836, dez. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n3p824>>. Acesso em: 10 out. 2018.

SILVA, Cibelle Celestino; MARTINS, Roberto de Andrade. A Nova teoria sobre luz e cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.18, p. 313-27, 1996.

TREVISAN, Marcello Garcia; POPPI, Ronei Jesus. Química Analítica de Processos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 5, p.1065-1071, out. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n5/31072.pdf>>. Acesso em: 2 out. 2018.

PROGRAMA ARDUINO

```

// Leitura Paralela do sensor linear TSL1402R (com 256 photodiodos)
//-----
intledPin = 13; // pin do LED
int inPin11 = 11; // entrada pin (pushbutton)Espectro 1
int inPin12 = 12; // entrada pin (for a pushbutton)Espectro 2
int val11 = 0; // variável para ler pushbutton 1
int val12 = 0; // variável para ler pushbutton 2
const unsigned char PS_32 = (1 << ADPS2) | (1 << ADPS0);
const unsigned char PS_128 = (1 << ADPS2) | (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0);
intCLKpin = 4; // <-- Arduino pin delivering the clock pulses to pin 3 (CLK) of the TSL1402R
intSIpin = 5; // <-- Arduino pin delivering the SI (serial-input) pulse to pin 2 of the TSL1402R
int AOPin1 = 1; // <-- Arduino pin connected to pin 4 (analog output 1)of the TSL1402R
int AOPin2 = 2; // <-- Arduino pin connected to pin 8 (analog output 2)of the TSL1402R
int IntArray1[256]; // <-- vetor para armazenar os photodiodos como numero inteiro
int IntArray2[256]; // <-- vetor para armazenar os photodiodos como numero inteiro
int Max = 1;
intval = 0; // variavel
void setup() {
pinMode(ledPin, OUTPUT); // declara LED (13) como saida
pinMode(inPin11, INPUT); // declara pushbutton 1 como entrada
pinMode(inPin12, INPUT); // declara pushbutton 2 como entrada
Serial.begin(115200); //Enviar e receber dados em 115200 baud
Serial.println("Gerando valores sequenciais");
// Inicializa pino 2Arduino pins como saida digital :
pinMode(CLKpin, OUTPUT);
pinMode(SIpin, OUTPUT);
pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
ADCSRA &= ~PS_128;
ADCSRA |= PS_32; // <-- Usando PS_32 faz uma única conversão ADC leva ~ 30 us
analogReference(DEFAULT);
for(inti=0; i < 14; i++)
{
digitalWrite(i, LOW);
}
for(inti=0;i < 260;i++)
{
ClockPulse();
}
digitalWrite(SIpin, HIGH);
ClockPulse();
digitalWrite(SIpin, LOW);
for(inti=0;i < 260;i++)
{
ClockPulse();
}
Serial.begin(115200);
}
void loop()
{
digitalWrite(ledPin, HIGH); // turn 13 ON
val11 = 0;
val12 = 0;
val11 = digitalRead(inPin11); // ler valor do push button 1
val12 = digitalRead(inPin12); // ler valor do push button 2
if (val11 == HIGH)
{ // olhar se 1 é HIGH (button )
for(inti = 0; i < 256; i++)
{

```

```

IntArray1[i] = 0 ;
}
for(int j = 0; j < 20; j++)
{
digitalWrite(SIpin, HIGH);
ClockPulse();
digitalWrite(SIpin, LOW);
for(int i=0; i < 128; i++)
{
delayMicroseconds(20); // <-- Adicionamos um atraso para estabilizar a saída AO do sensor
IntArray1[i] = IntArray1[i] + analogRead(AOpin1);
IntArray1[i+128] = IntArray1[i+128] + analogRead(AOpin2);
ClockPulse();
}
digitalWrite(SIpin, HIGH);
ClockPulse();
digitalWrite(SIpin, LOW);
for(inti = 0; i < 260; i++)
{
if(i==18)
{
}
}
ClockPulse();
}
}
for(inti = 0; i < 256; i++)
{
// IntArray[i] = IntArray[i] - Max;
Serial.print(IntArray1[i]);
Serial.print(" ");
Serial.println(IntArray1[i]);
Serial.print(IntArray1[i]);
Serial.print(" ");
Serial.println(IntArray1[i]);
}
}
if (val12 == HIGH)
{ // observer se 2 is HIGH (button liberado)
for(inti = 0; i < 256; i++)
{
IntArray2[i] = 0 ;
}
for(int j = 0; j < 20; j++)
{
digitalWrite(SIpin, HIGH);
ClockPulse();
digitalWrite(SIpin, LOW);
for(int i=0; i < 128; i++)
{
delayMicroseconds(20); // <-- Adicionamos um atraso para estabilizar a saída AO do sensor
IntArray2[i] = IntArray2[i] + analogRead(AOpin1);
IntArray2[i+128] = IntArray2[i+128] + analogRead(AOpin2);
ClockPulse();
}
digitalWrite(SIpin, HIGH);
ClockPulse();
digitalWrite(SIpin, LOW);
for(int i = 0; i < 260; i++)
{
if(i==18)

```

```
{
// fotodiodo ativo
    // sinal externo
}
ClockPulse();
}
}
for(inti = 0; i < 256; i++)
{
Serial.print(IntArray2[i]);
Serial.print(" ");
Serial.println(IntArray1[i]);
Serial.print(IntArray2[i]);
Serial.print(" ");
Serial.println(IntArray1[i]);
}

}
}
voidClockPulse()
{
delayMicroseconds(1);
digitalWrite(CLKpin, HIGH);
digitalWrite(CLKpin, LOW);
}
```