

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

WESLEY MENELLI

**ABORDAGEM EXPERIMENTAL PARA ENSINO MÉDIO
SOBRE O PRINCÍPIO DA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA
DA LUZ**

VITÓRIA
2022

WESLEY MENELLI

**ABORDAGEM EXPERIMENTAL PARA ENSINO MÉDIO
SOBRE O PRINCÍPIO DA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA
DA LUZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Sociedade Brasileira de Física em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto Cardoso
Passos

VITÓRIA
2022

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

M541a Menelli, Wesley, 1979-
Abordagem experimental para ensino médio sobre o princípio da dualidade onda-partícula da luz / Wesley Menelli. - 2022.
133 f. : il.

Orientador: Carlos Augusto, Cardoso Passos.
Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Exatas.

1. Radiação solar. 2. Radiação ultravioleta. 3. Luz. 4. Estratégias de aprendizagem. 5. Aprendizagem experimental. I. Passos, Carlos Augusto, Cardoso. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Exatas. III. Título.

CDU: 53



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA



PPGEnFis
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

MNPEF
Mestrado Profissional em Ensino de Física

"Abordagem experimental para Ensino Médio sobre o princípio da dualidade onda-partícula da luz"

Wesley Menelli

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 09 de setembro de 2022.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Carlos Augusto Cardoso Passos
(Orientador PPGEnFis/UFES)



Este documento foi assinado digitalmente por
JEFFERSON OLIVEIRA DO NASCIMENTO
Data: 09/09/2022 15:03:00
Verifique em: <https://verificador.dfdfe.gov.br>

Prof. Dr. Jefferson Oliveira do Nascimento
(Membro Externo/SEDUC)

Prof. Dr. Jaime Alberto Sanchez Caceres
(Membro Externo/IFES)



Este documento foi assinado digitalmente por
JAIME ALBERTO SANCHEZ CACERES
Data: 09/09/2022 11:24:00
Verifique em: <https://verificador.dfdfe.gov.br>

Prof. Dr. Ernani Vassoler Rodrigues
(Membro Interno PPGEnFis/UFES)

Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória - ES. Térreo do prédio do IC1, corredor interno.
Tel. (27) 4009-7951 e-mail: ppgenfis.ufes@gmail.com www.ensinodefisica.ufes.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
CARLOS AUGUSTO CARDOSO PASSOS - SIAPE 4342552
Departamento de Física - DF/CCE
Em 14/09/2022 às 15:03

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/560456?tipoArquivo=0>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.289 de 30/08/2018, por
ERNANI VASSOLER RODRIGUES - SIAPE 3253558
Departamento de Física - DF/CCE
Em 15/09/2022 às 18:36

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/561761?tipoArquivo=O>

Dedico este trabalho a Deus, pois sempre tem cuidado de mim.

A minha esposa, companheira e amiga.

A minha mãe, meu exemplo de coragem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, criador do universo e quem nos sustenta todos os dias.

Aos meu orientador, professor Carlos Augusto Cardoso Passos, por ter compartilhado comigo seus conhecimentos, não só para o desenvolvimento deste trabalho, mas também para meu desenvolvimento profissional.

Aos professores, colaboradores e demais funcionários do PPGEnFis/UFES, pois vocês estão sempre dispostos ao programa do mestrado profissional.

À Sociedade Brasileira de Física, pelo empenho em formar mestres e doutores em Física.

À CAPES, pela concessão da bolsa e pelo financiamento do MNPEF.

Aos meus colegas de trabalho, amigos e familiares que sempre me incentivaram para realização deste sonho.

Aos meus colegas do mestrado - turma 2020, que mesmo no ensino remoto, estivemos juntos até aqui.

A todos que contribuíram de alguma forma para a construção desta dissertação.

*“Se eu ousar catar
Na superfície de qualquer manhã
As palavras de um livro sem final
Sem final, sem final, sem final, final
Valeu a pena, ê ê
Valeu a pena, ê ê
Sou pescador de ilusões”*

(O Rappa)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estruturar um conjunto de experimentos com auxílio da plataforma Arduino, como subsídio à aprendizagem da natureza e propriedades da luz. Foi aplicada uma sequência didática em duas turmas da 3ª série do Ensino Médio, tendo como base a Teoria da Aprendizagem Significativa. Como situação-problema, foi abordado o uso da radiação ultravioleta na eliminação de micro-organismos. Foram realizados experimentos para evidenciar o comportamento ondulatório e o comportamento corpuscular da luz. Foi feita leitura e discussão de um artigo científico sobre os efeitos da radiação solar na saúde humana. Como instrumentos de avaliação, utilizamos palavras-cruzadas sobre ondas eletromagnéticas, diário de bordo, construção de mapa conceitual, elaboração de glossário do artigo científico, questionários dos roteiros e questionário final. Nossa análise dos resultados indica que a sequência didática aplicada pode ser considerada um material potencialmente significativo para a inserção de tópicos FMC no ensino médio. Entretanto, os resultados também apontam que os estudantes mantêm algumas concepções alternativas. De qualquer forma, este trabalho pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias com o objetivo de melhorar o ensino e, conseqüentemente, formar cidadãos com pensamentos críticos e cientificamente aceitos.

Palavras-chaves: Dualidade onda-partícula. Aprendizagem significativa. Radiação ultravioleta. Física Moderna e Contemporânea.

ABSTRACT

This work aims to structure a set of experiments with the help of the Arduino platform, as a subsidy to the learning of the nature and properties of light. A didactic sequence was applied to two 3rd grade high school classes, based on the Meaningful Learning Theory. As a problem-solving situation, the use of ultraviolet radiation in the elimination of microorganisms was addressed. Experiments were performed to show the wavelike and corpuscular behavior of light. A scientific article about the effects of solar radiation on human health was read and discussed. As evaluation tools, we used a crossword puzzle about electromagnetic waves, a logbook, the construction of a concept map, the elaboration of a glossary of the scientific article, script questionnaires, and a final questionnaire. Our analysis of the results indicates that the applied didactic sequence can be considered a potentially significant material for the insertion of FMC topics in high school. However, the results also point out that students maintain some alternative conceptions. In any case, this work can contribute to the development of strategies aimed at improving teaching and, consequently, forming citizens with critical and scientifically accepted thoughts.

Keywords: Wave-particle duality. Meaningful learning. Ultraviolet radiation. Modern and Contemporary Physics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista superior da difração num tanque com água.....	14
Figura 2- Difração da luz por uma fenda simples.....	15
Figura 3 - Curva da intensidade luminosa de difração da luz por uma fenda dupla. .	16
Figura 4 - Figuras de difração projetadas num anteparo por uma fenda única e por uma fenda dupla.....	17
Figura 5 - Distribuição da intensidade resultante da difração por fenda dupla.....	17
Figura 6 - Difração por múltiplas fendas.....	18
Figura 7 - Difração por múltiplas fendas.....	21
Figura 8 - Gráfico densidade de energia versus comprimento de onda.	22
Figura 9 - Esquema de aparato experimental do efeito fotoelétrico.	24
Figura 10 - Série de Balmer no espectro de emissão do hidrogênio.....	28
Figura 11- Interligação dos conceitos de dualidade onda-partícula.	39
Figura 12 – Câmara de desinfecção UV (Covidkiller).....	42
Figura 13 - Experimento para obtenção do índice de refração da água com o uso do conceito de difração da luz.....	43
Figura 14 - Simulação do efeito fotoelétrico.	45
Figura 15 - Experiência Sensor LDR: (a) lâmpada LED apagada; (b) lâmpada LED aceso.....	46
Figura 16 - Circuito LDR com microcontrolador Arduino.....	47
Figura 17- Potes preparados para receber luz solar.	48
Figura 18 - Circuito Sensor UV com auxílio de microcontrolador Arduino.....	49
Figura 19 - Medidor UV portátil.	50

Figura 20 - Atividade Palavra-cruzadas do grupo 5 da turma 3V2Adm.....	54
Figura 21 - Ilustração do experimento e cálculo para obter a velocidade da luz (grupo 4 - turma: 3v2Ele).....	56
Figura 22 - Recorte de um glossário elaborado pelo grupo 3, da turma 3V2Adm.....	58
Figura 23 - Recorte de um glossário elaborado pelo grupo 5 (turma 3V2Adm).	58
Figura 24 - Mapa conceitual de uma aluna da turma 3V2Adm.	59
Figura 25 - Folha verde num pote com água e bicarbonato de sódio, após a incidência de luz solar.	62
Figura 26 - Folha verde num pote com água e bicarbonato de sódio, na ausência de luz solar.	62
Figura 27 - Irradiância de uma lâmpada incandescente.....	64
Figura 28 - Irradiância de uma lâmpada fluorescente eletrônica.....	65
Figura 29 - Irradiância de uma lâmpada negra.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Níveis de IUUV	33
Quadro 2 - Distribuição das atividades desenvolvidas.	36

LISTA DE SIGLAS

FMC - Física Moderna e Contemporânea

FC – Física Clássica

TAS - Teoria da Aprendizagem Significativa

LDB - Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

BNCC - Base Nacional Comum Curricular

RUV – Radiação ultravioleta

UVA - Radiação ultravioleta banda A

UVB - Radiação ultravioleta banda B

UVC - Radiação ultravioleta banda C

IUV – Índice ultravioleta

UEPS - Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

SD – Sequência didática

LDR (Light Dependent Resistor) – Resistor dependente da luz

FPS – Fator de proteção solar

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
1.1 Apresentação.....	3
1.2 Contextualização e justificativa.....	4
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo Geral.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Teorias de aprendizagem.....	9
2.1.1 A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.....	9
2.2 Teoria clássica da luz.....	13
2.2.1 Difração da luz.....	14
2.3 Teoria quântica da luz.....	19
2.3.1 Radiação de corpo negro.....	19
2.3.2 O efeito fotoelétrico.....	23
2.3.3 O átomo de Bohr.....	27
2.4 Dualidade onda-partícula.....	29
2.5. Radiação Ultravioleta.....	32
2.5.1 Lâmpadas de RUV.....	35
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	36
3.1 O campo de estudo.....	36
3.2 Os sujeitos da pesquisa.....	36
3.3 Tipo de Pesquisa.....	36
3.4 Etapas do trabalho.....	37
4. RESULTADOS E ANÁLISE	50
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68

6. TRABALHOS FUTUROS	69
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
8. APÊNDICES	74
APÊNDICE A	75
APÊNDICE B	78
APÊNDICE C	79
APÊNDICE D	98
APÊNDICE E	105
APÊNDICE F	108
APÊNDICE G	113
APÊNDICE H	116

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Ser professor requer reinventar-se todos os dias, pois sempre estamos lidando com novas pessoas, com novos ambientes e com conhecimentos que são permanentemente dinâmicos. Segundo Flores e Escola (2008):

O que diferencia um professor de qualquer outro profissional é a sua ação, ou seja, o seu pensamento, a sua atitude, a construção de conhecimento e a sua atuação a partir das múltiplas e complexas relações dos processos de ensino aprendizagem (FLORES; ESCOLA, 2008, p. 1).

Há dezenove anos decidi trilhar este caminho de ensinar e aprender. Concluí a licenciatura em Física em 2006 e em 2008 ingressei como professor efetivo na rede estadual de educação do Espírito Santo. Não é fácil ser professor, mas é gratificante colher os frutos ao ver pessoas que foram meus alunos (inclusive aqueles que deram muito trabalho!) se tornarem trabalhadores com formação técnica ou superior. Com a finalidade de despertar interesse dos alunos, procuro buscar aplicações da Física em tecnologias aplicadas à comunicação, à saúde, ao meio ambiente e ao dia a dia das pessoas. Para mim, o professor deve sempre dialogar com seus alunos sobre sua forma de ensinar e avaliar. A avaliação deve priorizar os aspectos qualitativos sobre os quantitativos. Sei o quanto marca na memória de um aluno uma aula diferente, com algum novo experimento ou outra atividade que traga significado para ele. Em 2019 decidi que precisava atualizar minha formação, e em 2020 ingressei no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). O interesse pela Física Moderna vinha desde a graduação, por isso procurei pesquisar sobre este assunto já no início das aulas do mestrado. Logo depois, decidi pesquisar especificamente a natureza da luz e a radiação ultravioleta (RUV). Busquei livros, artigos e dissertações sobre o tema escolhido para decidir como desenvolver um Produto Educacional. As aulas do mestrado, as conversas com o orientador deste trabalho e as leituras que fiz contribuíram enormemente para minha formação. E agora, ao concluir este trabalho, espero poder continuar participando do processo de formação básica de muitos estudantes e assim contribuir com o desenvolvimento do nosso país.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Nas últimas três décadas ocorreram diversas mudanças na educação brasileira. Dentre estas, destacamos a lei 9.394/1996, denominada Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), homologada em 2018, que é referência obrigatória para elaboração dos currículos escolares e propostas pedagógicas para a educação infantil, ensino fundamental e ensino médio, nas instituições públicas e privadas.

A educação básica tem por finalidade, segundo o artigo 22 da LDB, “desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores” (BRASIL, 1996). Para garantir aos estudantes os direitos de aprendizagem e desenvolvimento, a BNCC apresenta 10 competências gerais da educação básica, dentre elas destacamos:

1. Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.

2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

[...]

4. Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo (BRASIL, 2018, p. 9-10).

Diante disso, o ensino de Física deve priorizar uma aprendizagem que faça sentido para o estudante, que valorize a sua análise crítica e que seja centrada nele. No entanto, devido a diversas razões, dentre as quais destacam-se a desvalorização da carreira do magistério, as más condições de trabalho e o reduzido número de aulas, o ensino de Física nas escolas brasileiras ainda se encontra centrado no

professor, a aprendizagem continua sendo sem significado e o estudante permanece sendo preparado tão somente para realização de provas.

Na área de Ciências da Natureza (Física, Química e Biologia), a BNCC estabelece a importância da contextualização social, histórica e cultural no conhecimento científico a ser ensinado, ou seja, “propõe-se também discutir o papel do conhecimento científico e tecnológico na organização social, nas questões ambientais, na saúde humana e na formação cultural” (BRASIL, 2018, p. 549).

No dia a dia de sala de aula, os conteúdos de Física limitam-se, quase sempre, à Física dos séculos XVII, XVIII e XIX, a chamada Física Clássica (FC), devido, principalmente, ao reduzido número de aulas e currículo extenso. Deixamos de ensinar a Física dos séculos XX e XXI, denominada de Física Moderna e Contemporânea (FMC), mesmo sabendo que muitas tecnologias que usamos cotidianamente são aplicações das teorias dessa Física.

Apesar da dificuldade de ensinar FMC nas aulas de Física no Ensino Médio (EM), ao longo da última década, foram apresentados alguns trabalhos (artigos científicos, dissertações e teses) que trazem propostas de inserção desta temática nas aulas de Física. Dentre esses trabalhos, destacamos as dissertações dos seguintes autores: Silva (2010), Benaquio (2016), Monteiro (2017), Silva (2017), Dalmolin (2018), Franco (2018), Anjos (2019) e Vilar (2020). Logo abaixo, apresentamos uma breve descrição desses trabalhos.

- Silva (2010) discute os aspectos históricos e filosóficos da natureza da luz e modelos do processo da visão, através da aplicação de uma unidade didática em duas turmas do ensino médio noturno, nas quais desenvolveu uma atividade de debate coletivo, denominado "Júri simulado".
- Benaquio (2016) aplicou uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre efeito fotoelétrico, utilizando experimentos: (1) sensor LDR auxiliado por microcontrolador Arduino, e (2) obtenção da constante de Planck; e simulação computacional sobre: (1) ondas mecânicas e eletromagnéticas, e (2) efeito fotoelétrico;

- Monteiro (2017) investiga se houve mudança de concepção sobre a natureza da luz, após a aplicação de uma sequência didática baseada nas teorias de aprendizagem significativa de Ausubel e construtivista de Vigotsky, na qual foi realizado um experimento para obtenção da velocidade da luz; três experimentos com auxílio de microcontrolador Arduíno: (1) Absorção e emissão de radiação de corpo negro, (2) Obtenção da constante de Planck e (3) Efeito fotoelétrico; além de questionário prévio e questionário final;
- Silva (2017) elaborou uma sequência didática baseada na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Esta sequência didática teve o objetivo de inserir a Física Moderna por meio dos efeitos biológicos da radiação ultravioleta (RUV), sendo aplicada em um grupo de estudantes de graduação. A partir de uma situação-problema sobre o uso de protetor solar, o autor apresentou um minicurso sobre RUV e utilizou mapa conceitual como instrumento de avaliação.
- Dalmolin (2018) analisa os resultados da aplicação de uma sequência didática sobre RUV e Raios X, composta por questionário prévio, leitura de texto, apresentação de vídeos, palestra com profissional de radiologia e experimentos (espectros de emissão e fluorescência);
- Franco (2018) analisa os dados coletados durante a aplicação de uma sequência didática baseada na teoria de Aprendizagem Construtivista e Sociointeracionista sobre os efeitos, riscos e benefícios da RUV à saúde humana, na qual foram realizadas as atividades: questionário investigativo, vídeos, leituras de textos de divulgação científica, leitura e interpretação de gráficos representativos do índice ultravioleta (IUV) e uma atividade experimental sobre IUV utilizando um medidor portátil;
- Anjos (2019) analisa os dados coletados em uma sequência didática baseada na teoria sociointeracionista de Vigotsky sobre dualidade onda-partícula da luz, na qual são realizadas as atividades: questionário de concepções prévias da natureza da luz, leitura de textos, experimento sobre difração da luz, experimento sobre efeito fotoelétrico e questionário final;

- Vilar (2020) analisa os dados de uma UEPS sobre tópicos de Física Moderna, na qual foram realizadas as atividades: simulação computacional sobre radiação infravermelha, experimentos sobre difração e interferência da luz, experimento sobre efeito fotoelétrico, leitura de texto sobre efeito fotoelétrico e construção de mapas conceituais.

A FMC possui várias aplicações tecnológicas (como os modernos notebooks, smartphones e tablets), com temas interdisciplinares (como os benefícios e riscos da RUV), mas pouco ensinado nas aulas de EM. Diante disso, propomos uma sequência didática baseada na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel que possibilite a inserção da FMC (especificamente o tópico dualidade onda-partícula da luz) e, além disso, conscientize os estudantes dos riscos à saúde causados pelo excesso da exposição à RUV solar.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo estruturar um conjunto de experimentos com auxílio da plataforma Arduíno, como subsídio à aprendizagem da natureza e propriedades da luz.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Verificar como a estratégia de experimentação modifica a concepção dos alunos acerca da natureza e propriedade da luz;
- Realizar experimentos acerca da natureza ondulatória da luz: (1) Velocidade da luz utilizando um forno de micro-ondas e (2) Índice de refração da água utilizando uma rede de difração;
- Realizar experimentos acerca da natureza corpuscular da luz: (1) Sensor LDR com auxílio de microcontrolador Arduíno; (2) Sensor ultravioleta com auxílio de microcontrolador Arduíno e (3) Efeito fotoelétrico na fotossíntese;

- Realizar atividades de leitura, discussão e fixação: (1) Palavras-cruzadas sobre ondas eletromagnéticas; (2) Construção de mapa conceitual sobre radiação solar; (3) Construção de glossário de termos científicos sobre radiação solar; (4) Descrição da atividade em diário de bordo;
- Realizar uma atividade de simulação computacional sobre efeito fotoelétrico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TEORIAS DE APRENDIZAGEM

As teorias de aprendizagem buscam conhecer como o indivíduo aprende e de que maneiras o ensino deve ser conduzido para que ocorra a aprendizagem. Dentre as teorias de aprendizagem, destaca-se a teoria cognitivista-construtivista (Construtivismo). Essa teoria defende que a aprendizagem é construída na interação do aprendiz com os meios físico e social. A aprendizagem se dá mediante processos cognitivos (processos que envolvem pensamento, memória, linguagem, percepção, raciocínio lógico etc.). O conhecimento não é algo que é dado pelo professor aos seus alunos. Em vez disso, o conhecimento é construído pelos alunos com a mediação do professor. Dentre os teóricos cognitivistas, destaca-se David P. Ausubel (1918 - 2008), psicólogo, professor e pesquisador de teorias de aprendizagem.

2.1.1 A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

A teoria da aprendizagem significativa foi proposta pelo psicólogo estadunidense David P. Ausubel, em 1963, na obra *Psychology of Meaningful Verbal Learning* (Psicologia da aprendizagem verbal significativa), na qual Ausubel privilegia a linguagem verbal. Essa teoria ficou conhecida como Teoria da Aprendizagem Verbal Significativa. Alguns anos depois, o próprio Ausubel troca o nome dessa teoria para Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

A teoria de Ausubel, de acordo com Guimarães (2018, p. 16), “é cognitivista e construtivista. Cognitivista por explicar o processo mental e construtivista ao assumir que processo de apreensão do conhecimento é evolutivo”.

Para Ausubel (apud Moreira, 2011, p. 103), “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe”. Para esse autor, os professores devem, antes de iniciar um novo ensino, procurar descobrir o conhecimento prévio dos seus alunos, a fim de possibilitar um ensino potencialmente significativo.

Segundo Moreira (2011), aprendizagem significativa

[...] é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé da letra, e não arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende (MOREIRA, 2011, p.13).

Quando um novo conhecimento é apresentado ao aluno, em sua estrutura cognitiva ocorre um processo de interação das novas ideias com um ou mais conhecimentos prévios especificamente relevantes, os quais Ausubel denomina de subsunçores. Nesse processo de interação, ocorre o que Ausubel chama de “ancoragem” do novo conhecimento com as ideias relevantes existentes (ancoradas) na estrutura cognitiva. A ancoragem faz com que não somente o novo conhecimento seja assimilado à estrutura cognitiva do aprendiz, mas também com que os subsunçores relevantes se modifiquem e se tornem mais estáveis.

Quando o aprendiz não dispõe em sua estrutura cognitiva dos subsunçores necessários para que ocorra a aprendizagem, Ausubel sugere o uso dos organizadores prévios.

Moreira (2011) define organizador prévio como sendo

[...] um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de abstração do material a ser aprendido. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente, mais geral e inclusivo do que este (MOREIRA, 2011, p. 30).

A aprendizagem que se contrapõe à aprendizagem significativa é denominada de *aprendizagem mecânica*. Nessa aprendizagem o aprendiz não dá significado àquilo que lhe foi ensinado, ele apenas memoriza o conhecimento somente por pouco tempo, como numa prova em que o aluno decora a fórmula, mas depois se esquece dela. Moreira (2011), citando Ausubel, afirma que

Ausubel define aprendizagem mecânica como sendo a aprendizagem de novas informações com pouca ou nenhuma relação a conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva. Nesse caso, o novo

conhecimento é armazenado de maneira arbitrária: não há interação entre a nova informação e aquela já armazenada, dificultando, assim, a retenção (MOREIRA, 2011, p. 104).

No entanto, a distinção entre a aprendizagem significativa e a mecânica não é dicotômica¹. Sobre essas aprendizagens, Moreira (2016) afirma que

estes dois tipos de aprendizagens estão em extremos opostos de um mesmo contínuo. Isto significa que não se deve pensar que a aprendizagem é significativa ou mecânica. Há casos intermediários. É possível que uma aprendizagem inicialmente mecânica passe, progressivamente, à significativa (MOREIRA, 2016, p. 31).

São duas as condições básicas para que ocorra aprendizagem significativa: 1) o material de ensino deve ser potencialmente significativo e 2) o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender. Sobre essas condições, Moreira (2011) esclarece:

A primeira condição implica 1) que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos, ...) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e 2) que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncoras relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. Quer dizer, o material deve ser relacionável à estrutura cognitiva e o aprendiz deve ter o conhecimento prévio necessário para fazer esse relacionamento de forma não-arbitrária e não-literal (MOREIRA, 2011, p.24).

De acordo com a TAS, na estrutura cognitiva do aprendiz, a aprendizagem ocorre de modo que as informações se diferenciam progressivamente e, ao mesmo tempo, se reconciliam integrativamente. Enquanto a diferenciação progressiva faz com que os subsunçores se modifiquem, adquirindo novos significados, a reconciliação integrativa ou integradora faz com que eles se recombinem e se reorganizem, eliminando as diferenças aparentes, resolvendo inconsistências, integrando significados e fazendo superordenações (MOREIRA, 2011).

É através da diferenciação progressiva e da reconciliação integrativa que, segundo Moreira (2011, p. 42) “o aprendiz vai organizando, hierarquicamente, sua estrutura cognitiva em determinado campo de conhecimentos”. Este autor também esclarece o termo hierarquicamente:

¹ Significa que são mutuamente exclusivas, isto é, só pode ocorrer uma ou outra.

Hierarquicamente significa que alguns subsunçores são mais gerais, mais inclusivos do que outros, mas essa hierarquia não é permanente, à medida que ocorrem os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa a estrutura cognitiva vai mudando (MOREIRA, 2011, p. 42 - 43).

Considerando que o conhecimento se organiza se diferenciando progressivamente e se reconciliando integrativamente, então faz-se necessário que o material de ensino seja organizado de forma que as informações iniciais sejam as mais gerais e inclusivas, para depois irem, progressivamente, diferenciando-se umas das outras e se reconciliando integrativamente.

A aprendizagem, na teoria ausubeliana, pode acontecer por recepção ou por descoberta. Na aprendizagem por recepção o que deve ser aprendido é apresentado ao aprendiz em sua forma final, enquanto na aprendizagem por descoberta o conteúdo principal a ser aprendido deve ser descoberto pelo aprendiz.

Moreira (2011) afirma que aprender por recepção não significa passividade, nem que esta forma de aprendizagem esteja associada ao ensino expositivo tradicional. Segundo esse autor,

Aprender receptivamente significa que o aprendiz não precisa descobrir para aprender. Mas isso não implica passividade. Ao contrário, a aprendizagem significativa receptiva requer muita atividade cognitiva para relacionar, interativamente, os novos conhecimentos com aqueles já existentes na estrutura cognitiva, envolvendo processos de captação de significados, ancoragem, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (MOREIRA, 2011, p. 33 - 34).

Na aprendizagem por descoberta, o aprendiz deve descobrir o que ele deverá aprender. Segundo Soares (2018, p. 64-65), nessa forma de aprendizagem o aprendiz “descobre o conhecimento por si próprio, chega à solução do problema e relaciona o conhecimento que acaba de adquirir com os conhecimentos em sua estrutura”.

Moreira (2011) afirma que, assim como nas aprendizagens significativa e mecânica, não há dicotomia entre aprendizagem por recepção e aprendizagem por descoberta. Ou seja, o conhecimento não ocorre por recepção ou por descoberta, mas que há um contínuo entre elas. O processo de aprendizagem pode ocorrer na “zona cinza” entre esses processos. Esse autor também afirma que aprender por

recepção não significa aprendizagem mecânica e aprender por descoberta não significa aprendizagem significativa, antes, contudo, é preciso buscar estratégias de aprendizagem que trabalhem na “zona cinza”.

Segundo Guimarães (2018), a aprendizagem significativa por descoberta depende de quanto o aprendiz obteve de aprendizagem significativa por recepção e da metodologia que será aplicada para desenvolver a estrutura cognitiva. Essa autora afirma que “se a metodologia de ensino for malconduzida, a aprendizagem pela descoberta poderá não ser necessariamente significativa, tornando-se tão mecânica e arbitrária quanto à aprendizagem receptiva mecânica” (GUIMARÃES, 2018, p. 17).

2.2 TEORIA CLÁSSICA DA LUZ

As teorias físicas estabelecidas até o século XX constituem o que chamamos de Física Clássica, sobre a qual estavam bem consolidadas as leis da mecânica, da termodinâmica, do eletromagnetismo, da óptica e da ondulatória.

Ao longo do século XVIII havia concorrência de várias concepções sobre a natureza da luz, como a teoria ondulatória e a teoria corpuscular. No entanto, a teoria corpuscular, defendida pelo físico inglês Isaac Newton (1643 - 1727), era a que predominava. Para Newton, de acordo com Caruso e Oguri (2016, p. 133), a luz era constituída por “feixes de corpúsculos que se deslocavam no vácuo em linha reta.” Contudo, ao fim desse século, começava-se a discutir algumas dificuldades dessa teoria, uma vez que ela não conseguia explicar alguns fenômenos como a dupla refração da luz. Este fato contribuiu para que houvesse um renascimento ou correção da teoria ondulatória da luz (OLIVEIRA et al, 2018).

As pesquisas experimentais de Thomas Young (1773-1820) e Augustin Fresnel (1788-1827) sobre difração e interferência da luz, realizadas no início do século XIX, contribuíram fortemente para que a maioria dos físicos dessa época abandonassem a teoria corpuscular e considerassem a luz apenas como um fenômeno ondulatório.

Na década de 1860, o físico escocês James Clerk Maxwell (1831 - 1879) verificou teoricamente a existência das ondas eletromagnéticas. Ao calcular a velocidade dessas ondas, Maxwell encontrou um valor consistente com a velocidade da luz determinada experimentalmente, em 1849, pelo físico francês Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819 - 1896). Dos trabalhos apresentados por Maxwell foi possível concluir que a luz é uma onda eletromagnética.

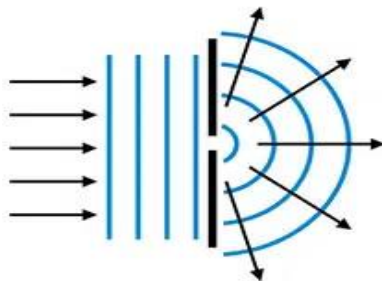
2.2.1 Difração da luz

Quando uma frente de onda atinge um obstáculo, o qual possui uma fenda de abertura da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da onda incidente, verifica-se uma mudança na frente de onda após passar pela fenda. O fenômeno que causa modificação da onda original é chamado de *difração*. Sobre o termo difração, Caruso e Oguri (2016) afirmam:

Originalmente, o termo difração surgiu para designar o fenômeno que se manifesta sempre que a luz encontra um objeto ou obstáculo cujas dimensões são suficientemente pequenas do ponto de vista macroscópico, mas ainda assim, grandes comparadas ao comprimento de onda da luz. Tal fenômeno não pode ser explicado pela hipótese de que a luz seria composta de raios que num meio homogêneo e isotrópico, se propagam em linha reta (CARUSO; OGURI, 2016, p. 135).

A difração é um fenômeno que evidencia claramente a natureza ondulatória da luz e pode ocorrer com ondas de qualquer natureza. Uma frente de ondas planas produzidas num tanque com água sofre difração ao passar pela fenda de uma barreira, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Vista superior da difração num tanque com água.



Fonte: <<https://definicion.de/difraccion/>>.

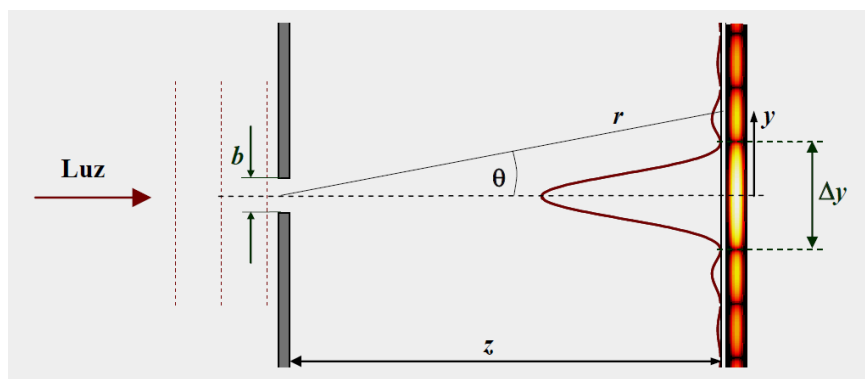
Basicamente, a difração da luz pode ser classificada em dois tipos: (1) Difração de campo próximo, ou *difração de Fresnel*, na qual a distância entre fonte emissora de luz e o obstáculo, e a distância entre o obstáculo e o anteparo não são grandes; (2) Difração de campo distante ou *difração de Fraunhofer*, na qual as distâncias são grandes o suficiente para considerar as ondas incidentes e secundárias como planas (ADMIRAL, 2020). Para fenômenos envolvendo a luz visível, a difração pode ser observada quando a abertura da fenda é da ordem de $5 \cdot 10^{-7}$ m.

A seguir, é feita uma análise da difração da luz de três maneiras: difração da luz por fenda simples, difração da luz por fenda dupla e difração da luz por fendas múltiplas e por uma rede de difração.

- **Difração da luz por fenda simples**

Quando um feixe de luz passa por uma fenda única (ou simples) de dimensões comparáveis ao seu comprimento de onda, os raios de luz proveniente de regiões diferentes da fenda, devido à diferença de percurso, podem atingir um ponto do anteparo com fases distintas, causando interferência construtiva ou destrutiva neste ponto. As regiões da figura gerada no anteparo onde ocorre interferência construtiva total são chamadas de máximos de difração (regiões claras), enquanto as regiões nas quais ocorre interferência destrutiva total são chamadas de mínimos de difração (regiões escuras). A figura 2 ilustra a difração da luz em uma fenda simples de largura b , a uma distância z do anteparo, além da curva da intensidade luminosa.

Figura 2- Difração da luz por uma fenda simples.



Fonte: <<http://coral.ufsm.br/hans/index.php/fsc404/36-fsc404-mural>>.

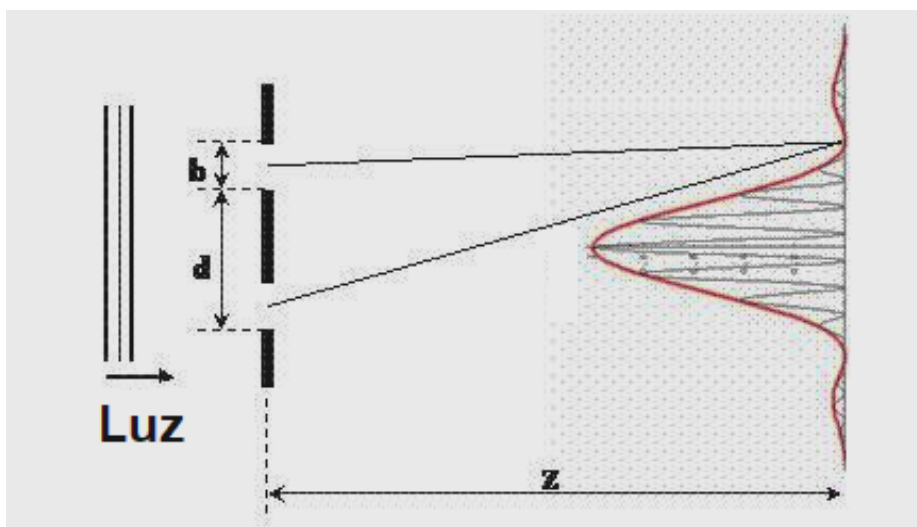
Os mínimos de difração (locais onde a intensidade luminosa é nula) ocorrem para ângulos nos quais a projeção da largura da fenda (b) sobre o eixo de propagação da onda difratada é um múltiplo inteiro do comprimento de onda, estão de acordo com a equação 1.

$$b \operatorname{sen} \theta = n\lambda \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (1)$$

- **Difração por fenda dupla**

Quando um feixe de luz passa por uma fenda dupla, cada uma com largura b , deslocadas de uma distância d , além do efeito de difração visto com uma fenda, haverá interferência entre os feixes de luz provenientes de cada uma das fendas. Nesse caso, as franjas brilhantes são muito mais estreitas e menos espaçadas do que as produzidas por uma fenda simples. A Figura 3 mostra a curva da intensidade luminosa projetada devida a difração em uma fenda dupla e a Figura 4 mostra as figuras de difração projetadas num anteparo por uma fenda única e por uma fenda dupla.

Figura 3 - Curva da intensidade luminosa de difração da luz por uma fenda dupla.



Fonte: <<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/files/2012/10/fig2.jpg>>.

Figura 4 - Figuras de difração projetadas num anteparo por uma fenda única e por uma fenda dupla.

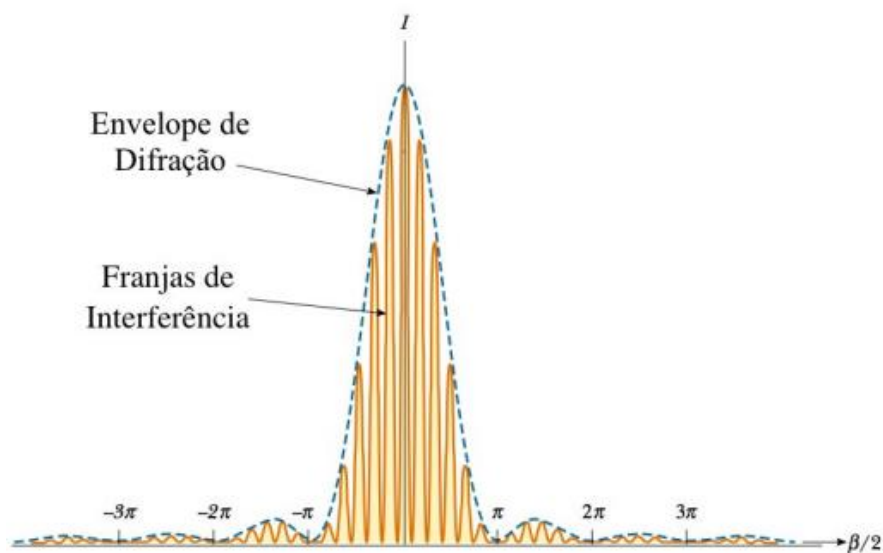


Fonte: <<https://edisciplinas.usp.br/mod/page/view.php?id=2353134&lang=fr>>.

Na difração por fenda dupla, as franjas claras ocorrem nos máximos (interferência construtiva) de acordo com a equação 2. A distribuição da intensidade luminosa na difração por duas fendas também é mostrada na Figura 5.

$$d \operatorname{sen} \theta = n \lambda \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (2)$$

Figura 5 - Distribuição da intensidade resultante da difração por fenda dupla.



Fonte: <http://fma.if.usp.br/~mlima/teaching/4320293_2012/Cap3.pdf>.

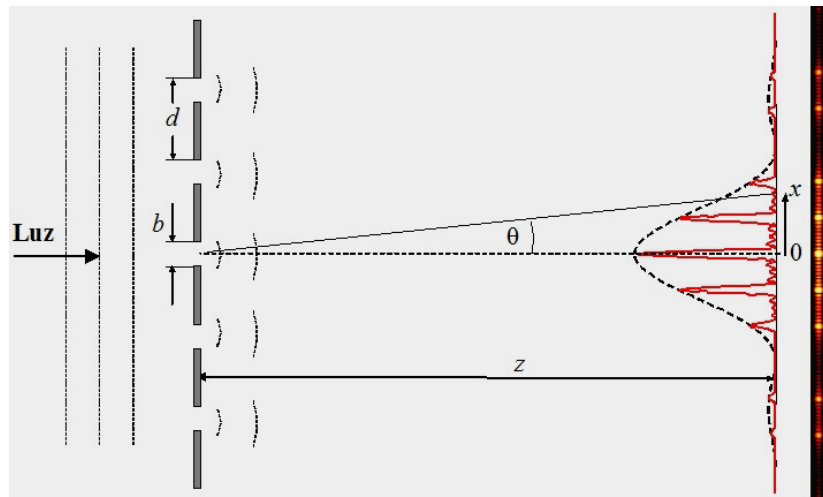
- **Difração por fendas múltiplas e redes de difração**

A difração por fendas múltiplas ocorre quando a luz passa por N fendas paralelas, de igual largura b , igualmente espaçadas por uma distância d . Nesse caso, obtém-se uma figura de interferência cujos máximos estão nas mesmas posições, porém são mais agudos e mais estreitos do que na figura de interferência por fenda dupla (YOUNG; FREEDMAN, 2016). Sobre difração por múltiplas fendas e redes de difração, Caruso e Oguri (2016), afirmam:

Do ponto de vista microscópico, não existe diferença entre os fenômenos de interferência e difração. Ambos resultam da superposição de ondas originadas em fontes coerentes. Enquanto a superposição de duas ou mais ondas é referida como interferência, a superposição de um grande número de ondas é chamada de difração (CARUSO, OGURI, 2016, p. 143).

A Figura 6 mostra a difração e a curva de intensidade por múltiplas fendas. Os pontos de máximo constituem as franjas estreitas e brilhantes que correspondem ao máximo principal da figura de interferência que, por sua vez, estão de acordo com a equação 2.

Figura 6 - Difração por múltiplas fendas.



Fonte: <<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/roteiros-do-laboratorio/3-difracao-de-fendas/>>.

As *redes de difração* constituem um aparato óptico formado por um número (N) grande de linhas ou ranhuras, igualmente espaçadas, no qual a luz incidente é espalhada pelas linhas ou refletida nas ranhuras. Segundo Caruso e Oguri (2016,

p. 144), “as redes de difração são amplamente usadas para selecionar comprimentos de onda em dispositivos monocromadores, ou para análise de composição espectral da luz, em espectrômetros.” A posição dos máximos na figura de difração em uma rede de difração ocorre de acordo com a equação 2. Nesse caso, o número n nesta equação é chamado de ordem da difração. A resolução (R) da rede de difração corresponde à capacidade com que esta rede tem em discriminar comprimentos de onda distintos e pode ser calculada pelo produto de n por N .

2.3 Teoria quântica da luz

Entre meados do século XIX e início do século XX, os físicos estavam empenhados no estudo da radiação emitida por corpos incandescentes. Segundo Perez (2016) vários eram os motivos para interesse nesse estudo, mas a autora destaca a iluminação noturna das grandes cidades europeias que era feita pela queima de gás e pouco depois substituída pelas lâmpadas elétricas incandescentes. Nessa época, um dos desafios científicos era entender o espectro da radiação dos corpos incandescentes, buscando o material mais eficiente para iluminação. A autora ainda destaca que o “estudo da radiação térmica e a explicação teórica dos resultados experimentais levaram a um impasse que culminou com a hipótese de quantização da energia” (PEREZ, 2016, p. 15).

2.3.1 Radiação de corpo negro

Em 1859 o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824 - 1887) obteve as primeiras observações da emissão de radiação por corpos incandescentes. Analisando o espectro das radiações emitidas, ele concluiu que para todos os corpos materiais, a intensidade dessa radiação dependia somente da frequência da radiação e da temperatura absoluta. Posteriormente, em 1882, ele criou o conceito de *corpo negro*: um objeto que absorve toda a luz incidente sobre ele, sem refletir nada da

radiação incidente e, quando está em equilíbrio termodinâmico, irradia energia na mesma taxa em que a absorve (CHESMAN et al, 2004).

As primeiras medidas experimentais do espectro da radiação de um corpo negro foram obtidas em 1884 pelo físico austríaco Josef Stefan (1835 - 1893). Este físico observou que a energia irradiada por um corpo negro era diretamente proporcional a temperatura absoluta elevada a quarta potência. Posteriormente, no mesmo ano, o físico austríaco Ludwig Boltzmann (1844 - 1906), demonstrou teoricamente, que a energia irradiada pelo corpo negro por unidade de área (I), para todas as frequências está associada a temperatura absoluta (T), dada pela equação 3.

$$I(T) = \sigma \cdot T^4 \quad (3)$$

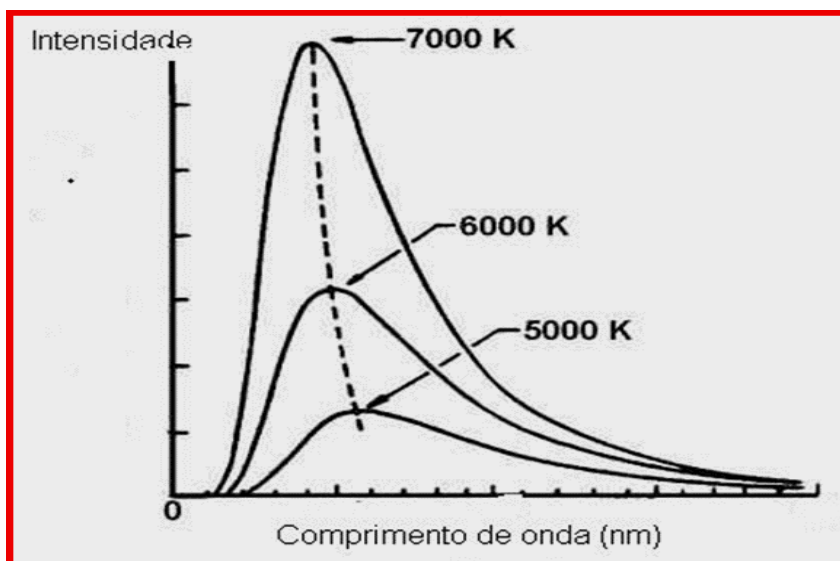
onde $\sigma = 5,67051 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ é denominada constante de Stefan-Boltzmann.

Ao coletarem dados da intensidade da radiação em função do comprimento de onda $I(\lambda)$ para uma dada temperatura absoluta, os físicos desse período obtiveram curvas experimentais como a mostrada no gráfico da Figura 7. Neste gráfico observa-se que o máximo da intensidade de radiação emitida ocorre em um determinado comprimento de onda ($\lambda_{\text{máx}}$) e quanto maior a temperatura da radiação, este comprimento de onda desloca-se para valores menores. Este fato experimental é denominado de Lei do deslocamento de Wien (dada pela equação 4), em homenagem ao físico alemão Wilhelm Wien (1864 - 1928), pois este físico observou pela primeira vez que o comprimento de onda em que um corpo negro emite radiação com intensidade máxima é inversamente proporcional à temperatura absoluta.

$$\lambda_{\text{máx}} \cdot T = b \quad (4)$$

onde $b = 0,2897756 \text{ cm} \cdot \text{K}$.

Figura 7 - Difração por múltiplas fendas.



Fonte: <<http://fisicacontextoaplicacoes.blogspot.com/2016/07/a-fisica-do-seculo-xx.html>>.

Apesar de a obtenção das curvas experimentais do espectro da radiação tivesse sido considerada um grande sucesso na compreensão da radiação de um corpo negro, os físicos desse período tiveram dificuldade em encontrar uma fórmula que descrevesse os resultados experimentais.

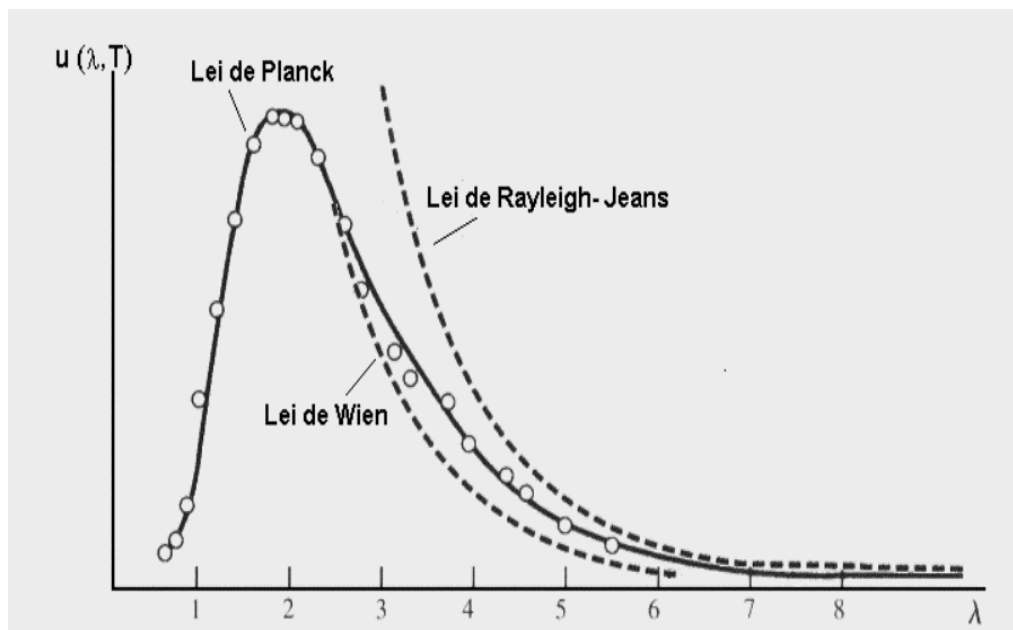
O físico Wien, em 1896, foi quem primeiramente propôs uma teoria para o espectro da radiação do corpo negro. No entanto, sua fórmula coincidia apenas para radiações de altas frequências (pequenos comprimentos de onda).

Quatro anos depois, os físicos ingleses John Willian Strutt, conhecido como Lord Rayleigh (1842 - 1919) e James Hopwood Jeans (1877 - 1946) também chegaram a uma expressão teórica da radiação do corpo negro, mas essa expressão coincidia apenas com os resultados experimentais na faixa de baixas frequências (grandes comprimentos de onda). Na fórmula obtida por eles, para pequenos comprimentos de onda, a radiação emitida tendia ao infinito. Esse fato causou grande espanto aos demais físicos daquela época e ficou conhecido como “a catástrofe do ultravioleta” - expressão cunhada em 1911 pelo físico austríaco Paul Ehrenfest (CARUSO; OGURI, 2016).

Em 1900, o físico alemão Max Planck (1858 - 1947), através da interpolação da fórmula de Rayleigh-Jeans com a fórmula de Wien, conseguiu obter uma equação

capaz de descrever os resultados experimentais da radiação emitida por um corpo negro. A Figura 8 mostra as três curvas teóricas e os pontos experimentais.

Figura 8 - Gráfico densidade de energia versus comprimento de onda.



Fonte: <<http://www.cursosvirt2.dominiotemporario.com/EaD/qq/aula-4/aula-4.htm>>.

De acordo com Martins e Rosa (2014), Planck havia observado que a radiação em um corpo negro devia estar em equilíbrio com as moléculas que emitem e absorvem essa radiação. Essas moléculas possuem certos osciladores ou ressoadores. Como Planck acreditava que emissão e absorção de radiação era um fenômeno eletromagnético, ele utilizou as equações do eletromagnetismo que descrevem a emissão de ondas por dipolos elétricos oscilantes e a energia absorvida por estes, relacionando com as equações da termodinâmica.

Para ter êxito em seu propósito, Planck precisou supor que os elementos de energia ϵ tinham um valor proporcional à frequência ν dos ressoadores, fazendo, desse modo $\epsilon = h\nu$, sendo h uma constante. Ele acreditava que bastava, ao final dos cálculos, fazer os elementos de energia tenderem a zero, que a equação estaria solucionada. No entanto, a constante h aparecia no final da equação e se ela fosse

igualada a zero, sua fórmula não descreveria mais os resultados experimentais (MARTINS; ROSA, 2014). Além disso, segundo estes autores,

[...] ao calcular as probabilidades associadas aos vários modos pelos quais a energia total poderia estar distribuída entre um certo número de osciladores, ele [Planck] não podia supor que a energia podia ser dividida de forma contínua – pois nesse caso, haveria infinitos modos de fazer a sua distribuição. Ele introduziu a suposição de que essa energia deveria ser dividida em um número definido de partes e então introduziu a ideia de uma energia mínima $\varepsilon = h\nu$ (MARTINS; ROSA, 2014, p. 34 - 35).

Inicialmente, o próprio Planck não acreditava que a energia dos osciladores era descontínua. Para ele, os elementos de energia $h\nu$ eram apenas “um truque” para chegar ao resultado correto (MARTINS; ROSA, 2014). Estes autores ainda complementam:

Posteriormente (em uma carta escrita à Robert Wood em 1931, Planck declarou que a introdução de h e dos elementos de energia foi “um ato de desespero”, e que “eu tinha que obter um resultado positivo [para a equação do corpo negro] de qualquer jeito, a qualquer custo” (PAIS, 1979, p. 870; KLEIN, 1977, p. 13; MEHRA & RECHENBERG, 1982, vol. 1.1, p. 50, apud MARTINS; ROSA, 2014, p. 35 -36).

Após mais de duas décadas da publicação dos trabalhos de Planck, os físicos passaram a considerar que a radiação eletromagnética é formada por um número inteiro de pacotes (ou quanta) de energia $\varepsilon = h\nu$, tal que a energia total E é dada por (equação 5):

$$E = n\varepsilon = nh\nu \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (5)$$

onde h é a constante de Planck, cujo valor no SI é $6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s.

2.3.2 O efeito fotoelétrico

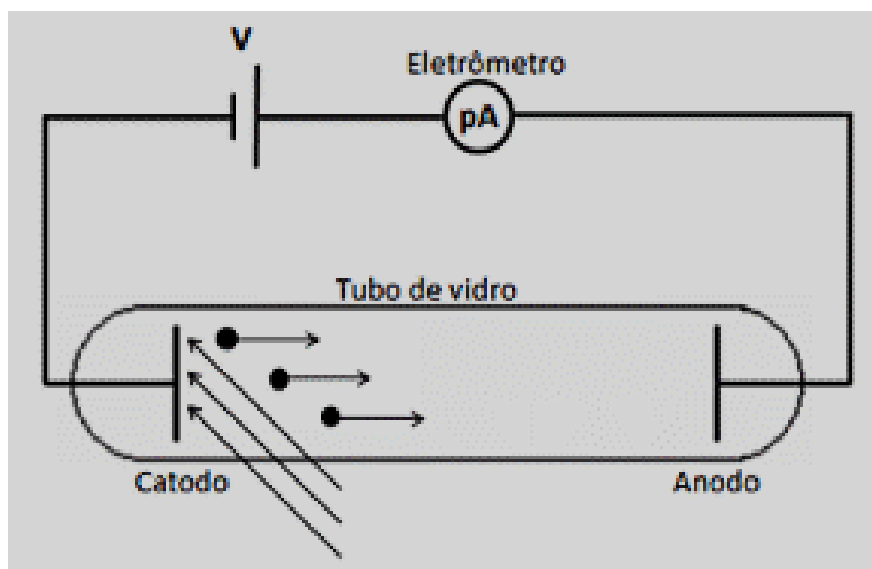
O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície geralmente metálica, quando sobre esta ocorre incidência de luz com uma determinada frequência mínima. Este fenômeno foi observado pela primeira vez em 1887 pelo físico alemão Heinrich Hertz (1857 - 1894) quando realizava um experimento para detecção de ondas eletromagnéticas, utilizando dois circuitos, um transmissor e um receptor. Hertz verificou que quando se incidia luz sobre um dos eletrodos do

circuito receptor, aumentava-se a intensidade da descarga elétrica entre os eletrodos deste circuito (ALONSO; FINN, 2015).

No início do século XX, o físico alemão Philipp Lenard (1862 - 1947) realizou experimentos semelhantes aos de Hertz (porém utilizando um tubo de Crookes) em que, ao se iluminar o cátodo do tubo com luz ultravioleta, era verificada a formação de raios catódicos. Lenard observou que estes raios se tratavam, na verdade, de elétrons, os quais ele chamou de fotoelétrons. Assim, Lenard passou a chamar este fenômeno de *efeito fotoelétrico* (CHESMAN et al, 2004).

A Figura 9 mostra um esquema do experimento para verificação do efeito fotoelétrico, no qual há uma fonte de tensão e um eletrômetro (aparelho que mede corrente muito baixas, da ordem de pA). Quando há emissão de fotoelétrons, uma corrente elétrica I é detectada no eletrômetro. Ao se inverter a polaridade da fonte de tensão, os elétrons emitidos são freados quando é aumentado o módulo do potencial. O potencial que anula a corrente é chamado de potencial de corte V_0 .

Figura 9 - Esquema de aparato experimental do efeito fotoelétrico.



Fonte: <<http://dfisweb.uefs.br/caderno/vol19n1/S4Artigo03EfeitoFotoeletrico.pdf>>.

Em 1902, Lenard publicou os resultados dos seu experimentos, dos quais destacamos: (1) a emissão dos fotoelétrons independe da intensidade da luz

incidente; (2) a velocidade máxima dos fotoelétrons emitidos independe da intensidade da luz; (3) a corrente elétrica produzida é proporcional à intensidade da luz; (4) para cada metal há uma frequência mínima (frequência de corte), abaixo da qual o fenômeno não ocorre; (5) para um mesmo metal, o potencial de corte independe da intensidade luminosa; (6) a energia cinética dos fotoelétrons e o potencial de corte crescem com o aumento da frequência da luz; (7) a emissão de fotoelétrons, a partir da incidência de luz, é instantânea (10^{-9} s) (CARUSO; OGURI, 2016).

Segundo Martin e Rosa (2014), a explicação dada por Lenard para fato de a velocidade máxima dos elétrons emitidos ser independente da intensidade luminosa era que estes elétrons, quando ainda estavam presos aos átomos, já possuíam energia para isso e que a luz funcionava como um estimulador para sua liberação. Essa explicação ficou conhecida como a hipótese do “gatilho” e foi aceita pela comunidade científica até 1911.

Em 1905, o físico alemão Albert Einstein (1879 - 1955) publicou um artigo intitulado “*Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz*”, no qual ele apresenta sua hipótese dos quanta de luz e aplica esta ideia para explicar três fenômenos diferentes, dentre os quais um deles ele chamou de “a emissão de ‘raios catódicos’ (elétrons) quando corpos sólidos são atingidos pela luz (ou seja, aquilo que chamamos de ‘efeito fotoelétrico’)” (MARTINS; ROSA, 2014, p. 52).

Para Einstein, a luz é constituída por *quanta* (pacotes) de energia. Cada *quantum* (pacote) de energia é correspondente ao quantum de energia de Planck, $\varepsilon = h\nu$. Um quantum de luz é o que chamamos de *fóton* - termo que foi cunhado em 1926, pelo físico e químico estadunidense Gilbert Newton Lewis. Einstein explicou que quando um fóton colide com um elétron, transmite a este elétron toda sua energia. Para que o elétron seja liberado do metal, uma energia ϕ (*função trabalho*) é consumida. A energia cinética máxima (E_c) dos fotoelétrons emitidos pelo metal é dada pela equação 6.

$$E_c = h\nu - \phi \quad (6)$$

onde h = constante de Planck, ν é a frequência da luz e ϕ é a função trabalho (característica do metal).

A energia cinética máxima também pode ser determinada através do potencial de corte, pois nessa condição a energia cinética de cada elétron vale $E_c = eV_0$, onde e (carga elétrica elementar) = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

A frequência de corte ν_0 pode ser encontrada na condição em que a energia do fóton incidente é igual a energia de ligação do elétron ao metal (logo, $E_c = 0$), mostrada na equação 7.

$$\nu_0 = \frac{\phi}{h} \quad (7)$$

Segundo Martins e Rosa (2014), quase toda comunidade científica recusou imediatamente a hipótese de Einstein sobre a quantização da luz publicada em 1905. No entanto, em 1907, após publicar um novo artigo sobre a teoria do calor específico dos sólidos utilizando a ideia da quantização de Planck, Einstein começou a ter notoriedade entre seus pares. Nesse artigo, Einstein supunha que as “oscilações térmicas das partículas dos sólidos somente podiam adquirir valores de energia que fossem múltiplos de $\epsilon = h\nu$ ” (MARTINS; ROSA, 2014, p. 57).

Entre 1908 e 1914, o cientista norte-americano Robert Andrew Millikan (1868 - 1953), realizou uma série de experimentos sobre o efeito fotoelétrico nos quais confirmou a equação de Einstein para este fenômeno. Mesmo após a publicação desses resultados (ocorrida em 1916), a maioria dos físicos ainda não aceitavam a hipótese de Einstein para a quantização da luz.

Após a confirmação experimental da sua teoria para o efeito fotoelétrico e pela repercussão positiva dos trabalhos por ele apresentados em 1905 e 1915 sobre a teoria da relatividade, Einstein passou a ser mais bem reconhecido entre os cientistas e, em 1922, ele foi condecorado com o prêmio Nobel por sua explicação sobre o efeito fotoelétrico.

2.3.3 O átomo de Bohr

Em 1904, o físico britânico Joseph John Thomson (1856 - 1940) propôs um modelo atômico que ficou conhecido como “pudim de ameixas”. Nesse modelo, o átomo era formado por elétrons presos a uma esfera onde havia carga elétrica positiva distribuída uniformemente. Em 1911, o químico e físico neozelandês Ernest Rutherford (1871 - 1937), ao realizar um experimento com feixe de partículas α incidindo sobre uma fina lâmina de ouro, verificou o espalhamento de algumas dessas partículas (algumas, inclusive, sendo refletidas para trás). A partir deste experimento, Rutherford propôs um novo modelo atômico, semelhante ao sistema planetário do Sol, em que havia um núcleo de dimensão muito pequena com grande concentração de massa, com carga elétrica positiva e que, orbitando ao seu redor, em trajetória perfeitamente circular, estavam as partículas de menor massa e de carga negativa (elétrons) (CHESMAN et al, 2004).

O modelo atômico de Rutherford trouxe uma grande contribuição à Física que foi a descoberta do *núcleo atômico*. Apesar disso, esse modelo apresentava o problema da instabilidade dos elétrons, uma vez que, segundo a teoria eletromagnética clássica, quando o elétron sofre aceleração numa órbita circular, emite continuamente radiação, diminuindo sua energia, e, desse modo, realiza movimento em forma de espiral, ocupando órbitas cada vez menores, até se colapsar com o núcleo (CHESMAN et al, 2004).

Em 1913, o físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885 - 1962), publicou um artigo intitulado “*Sobre a constituição de átomos e moléculas*” no qual, utilizando a ideia da quantização da energia de Planck, propôs um modelo que corrigiu a instabilidade do modelo de Rutherford e, além disso, conseguiu justificar teoricamente a série de Balmer para o espectro de emissão do átomo de hidrogênio (CHESMAN et al, 2004).

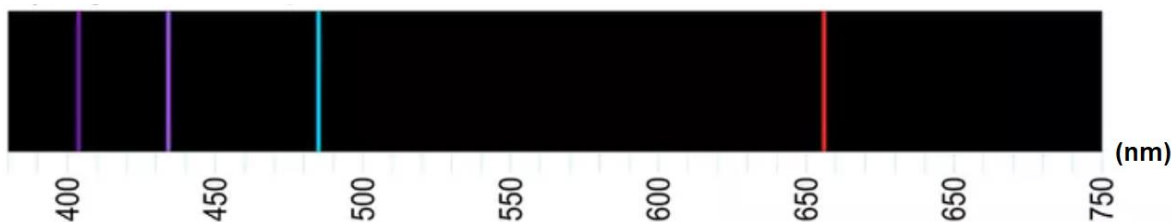
A série de Balmer é um conjunto de valores de espectros atômicos de emissão do átomo de hidrogênio, constituída pelas linhas espectrais na região do visível: 656,3 nm (vermelho), 486,1 nm (azul fraco), 434,1 nm (azul forte), 410,2 (violeta fraco) e 364,6 nm (violeta forte). Foi Johann Jacob Balmer (1825 - 1898), um físico e

matemático suíço, que em 1885, encontrou uma fórmula empírica dos comprimentos de onda para esta série, mostrada na equação 8. A Figura 10 mostra a série de Balmer para o espectro de emissão do hidrogênio.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (8)$$

onde n é um número inteiro ($n = 3, 4, \dots$) e $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ é a constante de Rydberg².

Figura 10 - Série de Balmer no espectro de emissão do hidrogênio.



Fonte: <<https://www.thoughtco.com/definition-of-balmer-series-604381>>.

No artigo publicado em 1913, Bohr escreve os seguintes postulados:

- 1) O elétron pode se mover em determinadas órbitas sem emitir radiação. Essas órbitas estáveis são denominadas estados estacionários;
- 2) As órbitas estacionárias são aquelas para as quais o momento angular L é múltiplo inteiro de $h/2\pi$, como mostra a equação 9.

$$L = \frac{nh}{2\pi} \quad (9)$$

onde $n = 1, 2, 3, \dots$ é o número da órbita, chamado de número quântico principal.

² Em homenagem a Johannes Robert Rydberg, físico sueco, que aplicou a fórmula de Balmer em regiões fora do visível e verificou que o valor de R era o mesmo para cada elemento, com pequenas variações para elementos químicos diferentes (CHESMAN et al, 2004, p. 128).

- 3) O elétron ao saltar de uma órbita com energia E_1 para outra órbita com energia E_2 , tal que $E_1 > E_2$, emite de um fóton cuja energia $\varepsilon = h\nu$. A energia desse fóton corresponde à diferença de energia do elétron nessas órbitas, como mostra a equação 10.

$$h\nu = E_1 - E_2 \quad (10)$$

onde h = constante de Planck e ν é a frequência do fóton emitido.

Entre 1915 e 1916, o físico alemão Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1868 - 1951), ao generalizar os postulados de Bohr, estendeu a quantização da energia para órbitas elípticas e fez correção relativística da massa do elétron, o que permitiu explicar a estrutura fina do espectro de hidrogênio (CARUSO; OGURI, 2016). Esses autores também acrescentam:

A teoria de Bohr-Sommerfeld ficou conhecida como “a velha teoria quântica”, e conseguiu reproduzir, de maneira satisfatória, muitos dos resultados experimentais da época. Entretanto, o próprio Bohr fez diversas críticas para mostrar a necessidade de “uma nova teoria” capaz de explicar os fenômenos atômicos: a *Mecânica Quântica* (CARUSO; OGURI, 2016, p. 389).

2.4 DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

O debate sobre a natureza da luz faz parte da história da humanidade desde a antiguidade. Na Grécia Antiga, de onde vieram as primeiras teorias filosóficas sobre a natureza da luz, as concepções dependiam da escola de pensamento. Os atomistas³ acreditavam na natureza corpuscular das imagens: minúsculas partículas carregadas de informações como a cor e a forma dos objetos atingiam os olhos, dando a sensação de visão. Empédocles de Agrigento (493 - 430 a.C.) acreditava que o universo era formado por quatro elementos básicos: fogo, ar, terra e água, que se misturavam em diferentes proporções, formando tudo que existia. A luz estava relacionada ao elemento fogo: os olhos emitiam um raio visual, uma

³ O atomismo foi uma escola filosófica, formulada no século V a.C, na Grécia, por Leucipo e seu discípulo Demócrito de Abdera. Para estes filósofos, o mundo material é composto de infinitos entes minúsculos, indestrutíveis, denominados átomos, que se movem incessantemente por um espaço vazio (PORTO, 2013, p. 2).

espécie de fogo interno que tocava os objetos e trazia informações sobre eles. Aristóteles (384 - 322 a.C.) foi o primeiro filósofo, que se tem notícia, a adotar a natureza ondulatória da luz, pois para ele a luz era uma espécie de fluido imaterial que chegava aos nossos olhos, vindo dos objetos visíveis, através de ondas.

Segundo Caruso e Oguri (2016), o filósofo, físico e matemático francês René Descartes (1596 - 1650) foi o primeiro a contribuir sobre a natureza da luz na história moderna. Segundo esses autores,

Por não acreditar no vazio, Descartes encarava a luz como uma pressão transmitida, análoga à propagação do som, através de um meio perfeitamente elástico, o *éter*, meio muito leve e rarefeito, capaz de penetrar todos os corpos sem ser percebido (CARUSO, OGURI, 2016, p. 116).

Contemporâneo de Newton, o físico, matemático e astrônomo neerlandês Christiaan Huygens (1629 - 1695) publicou em 1690 o livro "*Tratado sobre a luz*", no qual discute a natureza e as propriedades da luz. Contrário à concepção defendida por Newton (teoria corpuscular), Huygens retomou o ponto de vista ondulatório da luz e com essa teoria foi capaz de explicar os fenômenos da reflexão, refração e difração. Para Huygens, assim como uma fonte sonora comunica sua vibração com todo o ar a sua volta e a vibração dessas partículas propaga a onda sonora, o objeto luminoso comunica o seu movimento para os corpúsculos de *éter* (meio material de propagação da luz) que propaga a onda luminosa (ARAÚJO; SILVA, 2014).

Devido ao grande prestígio que Newton tinha junto à comunidade científica, o modelo ondulatório da luz não foi prontamente aceito. Contudo, essa situação começa a se inverter após as contribuições experimentais de Young e Fresnel sobre interferência e difração da luz, realizadas nas duas primeiras décadas do século XIX. Além disso, após Maxwell publicar o artigo "Uma teoria dinâmica do campo eletromagnético" em 1865, no qual unificou as teorias da eletricidade, do magnetismo e da óptica e no qual afirmou ser a luz uma onda eletromagnética, a concepção ondulatória da luz passou a prevalecer sobre a concepção corpuscular.

Em 1905, a concepção corpuscular da luz foi retomada por Einstein no artigo publicado por ele, intitulado "*Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da*

produção e transformação da luz”, no qual ele explica o efeito fotoelétrico considerando que a luz é constituída por pacotes de energia os quais, alguns anos depois, passaram a ser chamados de fótons (partículas de luz).

Mais uma vez a comunidade científica via-se num grande debate sobre a concepção da luz: a luz é onda ou partícula? Segundo Caruso e Oguri (2016), os físicos só passaram a aceitar a quantização da energia após a publicação (em 1913) da teoria de Bohr para o átomo de hidrogênio, e só passaram a aceitar os fótons a partir da publicação (em 1922) dos trabalhos do físico americano Arthur Holly Compton (1892 - 1962) sobre espalhamento de um fóton por um elétron, que resulta em uma diminuição da energia do fóton espalhado, fenômeno físico que posteriormente foi denominado de *efeito Compton*.

Sobre os fenômenos luminosos e sobre os modelos da luz que explicam estes fenômenos, Caruso e Oguri (2016) afirmam:

Esse quadro dá origem à ideia de um comportamento dual da luz. Em outras palavras, [...], parece que a natureza da luz depende do tipo de experiência realizada, manifestando-se ora como um fenômeno ondulatório resultante de vibrações coletivas de um meio, ora como um feixe de partículas que se deslocam com momentum definido (CARUSO; OGURI, 2016, p. 152).

Chesman et al (2004), apresentando uma aplicação da dualidade da luz na formação de imagens em um filme fotográfico, afirmam:

Um fóton irá se comportar como uma partícula, somente quando, em determinada situação o mesmo estiver sendo absorvido ou emitido por um átomo; mas ao se propagar, ele deve se comportar como uma onda eletromagnética (CHESMAN et al, 2004, p. 160).

Os físicos somente puderam superar a crise da dualidade onda-partícula quando passaram a aceitar que os fenômenos luminosos e eletromagnéticos podem ser descritos tanto como um movimento ondulatório em um meio contínuo, como pela transferência de energia através dos portadores discretos (os quanta) de energia, que se deslocam como um feixe de partículas por um meio com a velocidade de propagação de uma onda (CARUSO, OGURI, 2016).

2.5. RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A principal fonte de radiação ultravioleta é o Sol, mas é possível produzir artificialmente esta radiação. A radiação solar é composta por um conjunto de ondas eletromagnéticas denominado espectro eletromagnético solar. Esse espectro é dividido em intervalos de comprimentos de onda nos quais destacam-se: radiação ultravioleta (RUV), luz visível e radiação infravermelha. A luz visível está compreendida entre os comprimentos de onda de 400 nm (violeta) e 700 nm (vermelho); a RUV está compreendida entre 100 nm e 400 nm e a radiação infravermelha está compreendida entre 700 nm e 1.000.000 nm.

A RUV é dividida em três bandas (A, B e C) de comprimento de onda: UVA (315 - 400 nm), UVB (280 - 315 nm) e UVC (100 – 280 nm). A radiação UVA constitui a maior fração da RUV que atinge a superfície terrestre, sendo pouco absorvida pelos componentes atmosféricos. A maior parte da radiação UVB é absorvida pelo ozônio estratosférico e, aproximadamente 10 % incide na superfície terrestre. A radiação UVC é completamente absorvida pelos gases ozônio (O₃) e oxigênio (O₂) presentes na alta atmosfera, não atingindo a superfície terrestre (YAMAMOTO et al, 2018).

Cerca de 90 % do gás ozônio é formado na estratosfera (camada da atmosfera terrestre que fica entre 15 e 50 km de altitude). Ele é produzido pela ação fotoquímica da radiação UVC ($\lambda < 242 \text{ nm}$) sobre as moléculas do gás oxigênio. Além disso, a espessa camada de ozônio formada na estratosfera funciona como filtro (processo de absorção) da RUV ($\lambda < 315 \text{ nm}$). Desta forma, a camada de ozônio absorve toda radiação UVC e a maior parte da radiação UVB (SILVA, 2008; OKUNO; VILELA, 2005).

A RUV possui energia entre ionizante e não-ionizante. Uma radiação ionizante (como os raios X) é capaz de arrancar elétrons dos átomos ou moléculas, transformando-os em íons. No contexto da Radiobiologia⁴, a RUV é considerada como não-ionizante. No entanto, essa radiação é capaz de “promover excitação

⁴ Radiobiologia é o estudo da ação das radiações ionizantes nos tecidos biológicos e organismos vivos, sendo extremamente essencial no entendimento da resposta dos tecidos (normais e malignos) à radiação.

dos orbitais atômicos ou moleculares, e elétrons são levados a camadas mais externas, sem serem ejetados” (SARTORI; SEPEL; LORETO, 2008; OKUNO; VILELA, 2005).

A radiação UVA apresenta fraca ação bactericida, não produz eritema (vermelhidão na pele) e é responsável pelo bronzeamento. Esta faixa de RUV é a que penetra mais profundamente na pele, podendo penetrar na epiderme e atingir a derme. Os principais efeitos causados por esta radiação são o ressecamento e o envelhecimento precoce da pele. Além disso, a radiação UVA pode causar mutações no DNA mitocondrial, resultando no câncer de pele.

A radiação UVB afeta principalmente a camada epidérmica da pele, provocando eritemas e, portanto, queimaduras solares e bronzeamento. A radiação UVB pode provocar lesões ao DNA epidérmico, aumentando o risco de mutações fatais, o que pode acarretar em câncer de pele. No entanto, a exposição da pele a esta radiação, num tempo de 5 a 15 minutos entre os horários de 11h às 15h, de 2 a 3 vezes por semana, resulta na transformação do ergosterol epidérmico em vitamina D no corpo humano.

O índice ultravioleta (IUV) é um número que representa o nível da RUV sobre a superfície da Terra. O IUV informado nas previsões climáticas representa o valor máximo diário da radiação ultravioleta, referente ao meio-dia solar, horário de máxima intensidade de radiação solar. Este parâmetro é importante para avaliar os riscos principalmente saúde dos seres humanos. (SILVA, 2008). O quadro 1 mostra os níveis de IUV.

Quadro 1- Níveis de Índice ultravioleta (IUV)

CATEGORIA	IUV
BAIXO	< 2
MODERADO	3 a 5
ALTO	6 a 7
MUITO ALTO	8 a 10
EXTREMO	> 11

Fonte: INPE (2021).

Os protetores solares podem ser constituídos de dois tipos de filtros solares: os filtros físicos (ou inorgânicos) e os filtros químicos (ou orgânicos). Os filtros solares físicos funcionam como uma barreira, refletindo a maior parte da radiação incidente. Os principais representantes dessa classe de produto são: dióxido de titânio e óxido de zinco. O dióxido de titânio é capaz de absorver os raios UVB, mas não os raios UVA, enquanto que o óxido de zinco é capaz de absorver essas duas faixas de radiação. Os filtros solares químicos absorvem 95% da radiação UV nos comprimentos de onda de 290 a 320 nm. A maior parte dos protetores solares usa filtros químicos, geralmente uma mistura de dois a seis compostos aromáticos. A energia absorvida por estas moléculas é liberada quando estas retornam ao seu estado de equilíbrio nas formas de luz fosforescente ou fluorescente e calor (CABRAL; PEREIRA; PARTATA, 2011).

O fator de proteção solar (FPS) é o índice que determina o intervalo de tempo em que uma pessoa pode permanecer ao sol sem produzir eritema. Como exemplo: Uma pessoa se expõe à radiação solar sem usar protetor, fica vermelha em 10 min. Então, se ela usar protetor com FPS 30, poderá ficar exposta ao sol sem queimar $10 \times 30 = 300$ min (COSTA; SILVA, 1995).

2.5.1 Lâmpadas de RUV

As lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão, também chamadas de lâmpadas germicidas, consistem em um tubo de vidro que emite radiação ultravioleta com espectros de linhas cuja raia mais intensa ocorre no comprimento de onda $\lambda = 253.7$ nm (UVC). Elas são usadas para eliminar bactérias, vírus e outros organismos primitivos, sendo amplamente utilizadas na desinfecção de hospitais, indústrias farmacêuticas e indústrias de manufatura de comidas como indústria de leite, cervejarias e padarias (OKUNO; VILELA, 2005).

A lâmpada UVA ou luz negra é semelhante a uma lâmpada fluorescente, porém, não tem revestimento interno de fósforo e é fabricada com um vidro preto que só permite a passagem de comprimentos de onda entre 320 e 400 nm, ou seja emite radiação UVA e um pouco de luz visível violeta. Há outros tipos de lâmpadas UVA que são usadas para armadilhas de moscas, testes de fluorescência, indústria de alimentos, controle de notas e documentos, restauração de peças de arte, em muitos testes microbiológicos, em dermatologia ou doenças de pele e inspeções geológicas. Há também lâmpadas UVA/UVB que são utilizadas em criadores de répteis para o auxílio do ciclo reprodutivo, produção de vitamina D, absorção de cálcio e todo metabolismo destes animais.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 O CAMPO DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado no tempo destinado às aulas de Física em duas turmas do turno vespertino da 3ª Série do Ensino Médio e Integrado, numa escola da rede Estadual, localizada no município de Vitória, Espírito Santo. Na ocasião da pesquisa, a escola oferecia os seguintes cursos técnicos integrados ao ensino médio: Administração, Mecânica Industrial, Eletrotécnica, Automação Industrial e Segurança do Trabalho.

A estrutura física da escola é antiga, tendo ocorrido apenas algumas reformas nas duas últimas décadas. A escola possui oficinas de mecânica, oficinas de instalação elétrica, laboratórios de eletrônica e laboratório de informática, porém, na ocasião da pesquisa, não possuía laboratório de ciências. Os alunos desta escola são oriundos de várias regiões da Grande Vitória, principalmente dos municípios de Vitória e Serra.

3.2 OS SUJEITOS DA PESQUISA

Esta pesquisa foi aplicada na turma 3V1 do curso Técnico em Eletrotécnica (3V1Ele) com 27 alunos e na turma 3V2 do curso Técnico em Administração (3V2Adm) com 29 alunos. A faixa etária dos estudantes pesquisados era de 17 a 19 anos. Os estudantes participantes da pesquisa e os pais daqueles que eram menores de idade assinaram um Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (apêndice E) como voluntários da pesquisa.

3.3 TIPO DE PESQUISA

Trata-se de uma pesquisa qualitativa, pois neste trabalho estamos preocupados com o processo desenvolvido, e não simplesmente com o produto final. Sobre este tipo de pesquisa, Godoy (1995) diz que

Segundo esta perspectiva, um fenômeno pode ser melhor compreendido no contexto em que ocorre e do qual é parte, devendo ser analisado numa perspectiva integrada. Para tanto, o pesquisador vai a campo buscando "captar" o fenômeno em estudo a partir da perspectiva das

peças nele envolvidas, considerando todos os pontos de vista relevantes (GODOY, 1995, p.21).

3.4 ETAPAS DO TRABALHO

O trabalho desenvolvido consistiu na aplicação de uma sequência didática (SD) e ocorreu entre setembro e novembro de 2021, no 3º trimestre do ano letivo. Optamos por aplicá-la nesse período pois entendemos ser importante os estudantes terem previamente aulas sobre carga elétrica, corrente elétrica, campo elétrico e campo magnético, conteúdos trabalhados nos trimestres anteriores.

Esta SD é composta de um questionário prévio (pré-teste), discussão de situação-problema, experimentos, simulação computacional, atividade de revisão sobre ondas eletromagnéticas através de um caça-palavras, atividade de leitura de artigo científico e construção de glossário, atividade de construção de mapa conceitual e um questionário posterior (pós-teste). O número total de aulas foi 11 para aplicação desta SD, sendo 1 aula para aplicação de um questionário prévio (Apêndice A), 9 aulas para aplicação das atividades e 1 aula para aplicação do questionário posterior à SD (Apêndice H). O quadro 2 apresenta as 9 atividades desenvolvidas na SD.

Quadro 2 - Distribuição das atividades desenvolvidas

Atividade		Metodologia	Tempo (min)
1	1.1	Apresentação e discussão de vídeo de curta duração sobre. Radiação ultravioleta, disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=ctvwz-gEOzs > e revisão sobre ondas eletromagnéticas.	30
	1.2	Formação de grupos com 2 ou 3 alunos para realização de atividade Palavras-cruzadas sobre ondas eletromagnéticas (Apêndice B).	20
2	2.1	Atividade experimental: Obtendo a velocidade da luz com a utilização de um forno de micro-ondas. (Experiência 1).	35

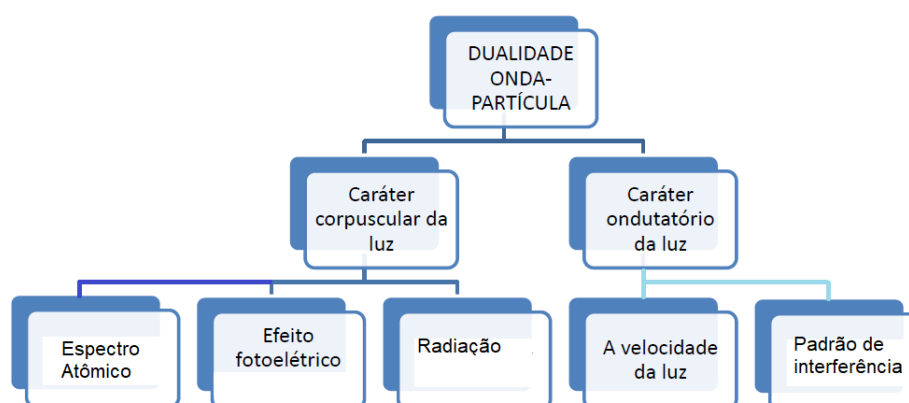
	2.2	Discussão sobre a luz como onda. Formação de grupos com 2 ou 3 alunos para anotar no diário de bordo o que foi apresentado e discutido na aula.	15
3	3.1	Atividade experimental: Obtendo o índice de refração da água através das figuras de interferência da luz (Experiência 2).	30
	3.2	Discussão sobre a luz como onda. Formação de grupos com 2 ou 3 alunos para fazerem as anotações sobre a aula no diário de bordo.	20
4	4.1	Leitura do texto “Ataque à pele”, disponível em http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc01/quimsoc.pdf .	30
	4.2	Formação de grupos com 2 ou 3 alunos para criar um glossário no diário de bordo sobre os principais termos presentes no texto que estejam relacionados à Física e à radiação solar.	20
5	5.1	Discussão sobre radiação solar: apresentação do espectro da radiação solar.	15
	5.2	Construção individual de mapa conceitual sobre radiação solar.	35
6	6.1	Atividade de simulação do efeito fotoelétrico utilizando o aplicativo Phet (disponível em https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR), seguindo o roteiro entregue pelo professor.	35
	6.2	Discussão sobre o efeito fotoelétrico, natureza corpuscular da luz e quantização da energia.	15
7	7.1	Atividade experimental: Observando o efeito fotoelétrico no sensor LDR (Experiência 4).	20
	7.2	Discussão sobre a natureza corpuscular da luz. Formação de grupos com 2 ou 3 alunos para responder às questões contidas no roteiro.	30
8	8.1	Atividade experimental: Observando o efeito fotoelétrico no processo da fotossíntese (Experiência 5).	30
	8.2	Discussão sobre a natureza corpuscular da luz.	20

		Formação de grupos com 2 ou 3 alunos para responder às questões contidas no roteiro.	
9	9.1	Atividade experimental: Utilizando o sensor de radiação UV para verificar a atenuação da transmissão desta radiação ao passar por uma camada de protetor solar aplicada sobre uma lâmina de vidro (Experiência 6).	20
	9.2	Discussão sobre dualidade onda-partícula, funcionamento dos protetores solares e o IUV.	30

Fonte: Próprio autor.

Procuramos evidenciar neste trabalho as situações em que a luz se comporta como uma onda e situações em que ela se comporta como uma partícula, seguindo o fluxograma da Figura 11. Como tema motivador da SD, utilizamos o Sol, principal fonte de luz visível e radiação ultravioleta sobre a superfície da Terra.

Figura 11- Interligação dos conceitos de dualidade onda-partícula.



Fonte: Próprio Autor

No produto educacional desta SD é proposto também um experimento sobre espectros atômicos de emissão da luz (Experiência 3). Este experimento não foi realizado com os alunos participantes desta pesquisa devido a dificuldade com aulas no sistema remoto e no sistema híbrido durante o ano letivo 2021.

Todas as atividades experimentais foram acompanhadas de roteiros. Cada roteiro tem um objetivo específico para que o aluno possa associar a atividade

experimental tanto ao caráter corpuscular quanto ao caráter ondulatório da luz. Os roteiros das experiências encontram-se descritos no Apêndice C.

Na Experiência 1, o objetivo é medir a velocidade de propagação da luz no ar em um forno de micro-ondas. Na Experiência 2, o objetivo é determinar o índice de refração da água usando padrão de interferência da luz. Na Experiência 3, o objetivo é observar os espectros atômicos de emissão de diferentes fontes de luz. Na Experiência 4, o objetivo é compreender os princípios físicos de funcionamento do sensor LDR. Na Experiência 5, o objetivo é verificar o comportamento corpuscular da luz visível no processo de fotossíntese em folhas verdes em uma solução aquosa. E por fim, na Experiência 6, o objetivo é verificar o comportamento corpuscular no processo de absorção da radiação UV. Tanto no experimento 4 quanto no experimento 6 utilizamos o microcontrolador Arduino e sensores. Os códigos dos programas estão descritos no Apêndice D.

Para montagem da experiência 4, utilizamos:

- Arduino Micro;
- Módulo Sensor de Luz com LDR;
- Fios (jumpers);
- Placa PCB universal dupla-face pré-furada 3x7cm;
- Caixa para projetos;
- Cabo USB para Micro USB 5p

Para a Experiência 6, utilizamos:

- Arduino Uno;
- Display LCD 16x2 Azul + Adaptador LCD I2C;
- Sensor Uv Ultravioleta MI8511;
- Fios (jumpers);
- Placa PCB universal dupla-face pré-furada 3x7cm;
- Caixa para projetos;
- Cabo Usb Arduino Uno Mega 30cm Usb 2.0 A/b.

A pesquisa foi iniciada com a aplicação de um questionário prévio (pré-teste) cuja finalidade era verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre ondas, luz visível, radiação ultravioleta, radiação solar e prevenção ao câncer de pele. Inicialmente, o questionário prévio estava previsto para ser realizado presencialmente, porém, devido à pandemia da Covid 19, optamos por aplicá-lo na forma de formulário Google, utilizando a plataforma Google Sala de Aula, uma vez que, nessa ocasião, os alunos frequentavam as aulas presenciais em dias alternados. O questionário ficou disponível cerca de 15 dias antes de dar continuidade à SD. Este questionário encontra-se no Apêndice A.

- Atividade 1

A primeira atividade foi iniciada com a seguinte situação-problema: “Como a radiação UV pode ser usada para eliminação do coronavírus?”, através de um vídeo de curta duração, disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=ctvwz-gEOzs>>, em que uma câmara com radiação UV é usada para desinfecção, sendo capaz de destruir o coronavírus. Esta câmara, denominada “Covidkiller” (Figura 12) foi desenvolvida pelo Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Após discussão sobre o vídeo, o professor desenhou no quadro o eixo da frequência e pediu aos alunos que identificassem a posição de cada radiação. Em seguida, o professor pediu aos alunos que dissessem exemplos de aplicação das radiações. Depois disto, o professor pediu que os alunos se organizassem em grupos de 2 ou 3 para realizarem a atividade *Palavras-cruzadas sobre ondas eletromagnéticas* (Apêndice B).

Figura 12 – Câmara de desinfecção UV (Covidkiller).



Fonte: UFES-coronavírus.

- Atividade 2

A segunda atividade foi iniciada com a seguinte situação-problema: “Como um forno de micro-ondas pode ser usado para encontrar a velocidade da luz?” Para encontrar a resposta, o professor fez outra pergunta: “Qual característica física todas as ondas eletromagnéticas têm em comum considerando que elas se propagam em um mesmo meio?” Após alguns minutos de discussão, os alunos disseram que todas as ondas têm frequência, comprimento de onda e velocidade. E o professor perguntou: “Qual destas características é igual para todas as radiações?” Após alguns segundos, o professor lembrou-os de que, no vácuo, todas as ondas eletromagnéticas propagam-se com velocidade de mesmo valor de aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s.

Em seguida, o professor pediu que os alunos fizessem grupos de 5 a 6 componentes e que 1 componente de cada grupo o acompanhasse até a sala dos professores, onde encontra-se o forno de micro-ondas que seria utilizado para realização da atividade experimental (Experiência 1). E então um aluno que não havia compreendido perguntou: “Que é que tem a ver velocidade da luz com micro-

ondas, professor?” Então o professor entregou o roteiro e explicou que o experimento consiste em obter a velocidade das micro-ondas (e por consequência, a velocidade da luz) utilizando barras de chocolate.

- Atividade 3

Na 3ª atividade, os alunos foram divididos em grupos de 4 a 5 componentes para realização do experimento sobre índice de refração da água, usando o conceito da difração da luz (experiência 2). O professor explicou o experimento e fez uma breve revisão dos fenômenos de refração, difração e interferência.

O experimento foi montado pelo professor em uma mesa e dois componentes de cada grupo fizeram a medição. A Figura 13 mostra a montagem do experimento. Primeiro foi medido a distância z do CD ao lado oposto onde foi fixado o papel milimetrado. Depois, foi medido no papel milimetrado, a distância horizontal entre o ponto da figura de difração de ordem zero e o ponto da figura de difração de 1ª ordem para o pote vazio (x_{ar}). A seguir, encheu-se o pote com água e mediu-se novamente a distância entre a difração de ordem zero e a difração de 1ª ordem ($x_{água}$). A seguir, os alunos fizeram anotações no diário de bordo sobre esta aula e calcularam o índice de refração da água.

Figura 13 - Experimento para obtenção do índice de refração da água com o uso do conceito de difração da luz.



Fonte: Próprio autor.

- Atividade 4

A quarta atividade teve como situação-problema: “Quais são os efeitos da luz solar sobre a pele humana?”. Para responder esta pergunta foi feita a leitura do artigo intitulado “Ataque à pele”, trabalho apresentado por Costa e Silva (1995). Esta atividade foi aplicada com o propósito fazer conexão da Física com as demais disciplinas da área de Ciências da Natureza e outras áreas do conhecimento. O artigo escolhido para leitura traz conceitos pertinentes à SD, quais sejam: ondas eletromagnéticas, espectro da radiação ultravioleta (UVA, UVB, UVC). Após a leitura individual ou em dupla, os alunos se organizaram em grupo e produziram um glossário de termos contidos no artigo.

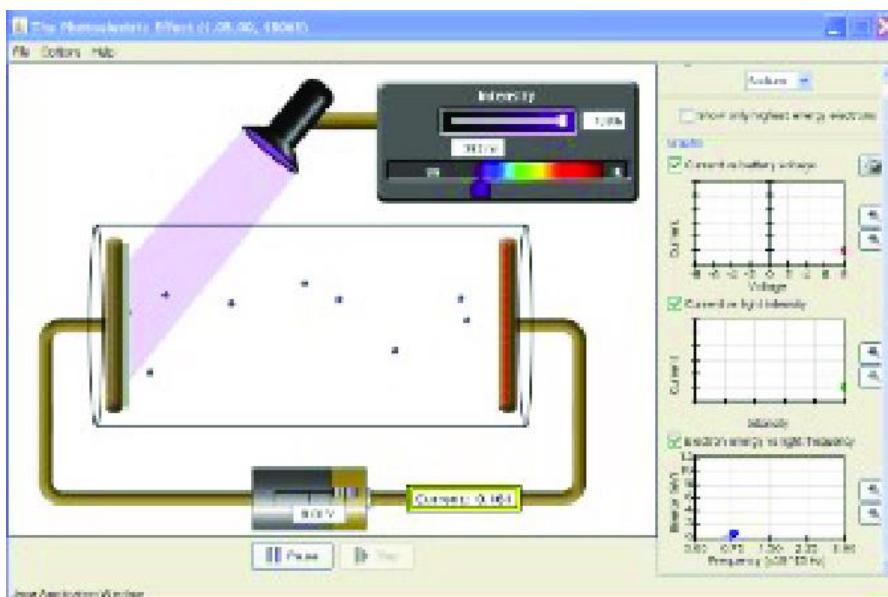
- Atividade 5

Nesta aula, o professor apresentou alguns slides sobre a radiação solar (apêndice F), destacando a parte desta radiação que chega à Terra (radiação ultravioleta, radiação infravermelha e luz visível) e a importância da camada de ozônio. Ao término desta breve exposição, o professor pediu como atividade individual a construção de um mapa conceitual sobre radiação solar. O professor lembrou aos alunos o que é um mapa conceitual e fez como exemplo um mapa conceitual sobre ondulatória. Esta atividade foi realizada em casa.

- Atividade 6

Nesta atividade, os alunos utilizaram os chromebooks da escola para realizar a simulação computacional do efeito fotoelétrico (Figura 14) seguindo um roteiro preparado pelo professor (apêndice G). O aplicativo foi produzido pela Universidade do Colorado e está disponível na web na página <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric>. Os alunos formaram grupos de 2 ou 3 componentes para realizar esta atividade.

Figura 14 - Simulação do efeito fotoelétrico.



Fonte: Phet - Universidade do Colorado.

Antes de iniciar a simulação, o professor perguntou aos alunos como as lâmpadas da iluminação pública acendem-se sempre que escurece e apagam-se quando fica claro, e como as portas dos shoppings abrem-se e fecham-se sozinhas. A resposta dada por um aluno da turma do curso de Eletrotécnica foi imediata: “Porque eles têm sensor eletrônico.”, mas estes alunos não souberam explicar o funcionamento destes sensores. A seguir, o professor explicou brevemente o que é o efeito fotoelétrico e entregou aos alunos o roteiro.

- Atividade 7

Na aula 7, o professor retomou a pergunta feita na aula anterior sobre como funcionam as lâmpadas da iluminação pública e as portas dos shoppings que se abrem e fecham sozinhas. A seguir, o professor apresentou um experimento com um sensor LDR (Experiência 4) em que os alunos puderam observar que ao interromper a chegada da luz no sensor, uma lâmpada LED se acende. O professor explicou que o experimento utiliza um microcontrolador Arduino e que foi programado para tal propósito. Na figura 15-a o sensor está recebendo luz do ambiente e, na figura 15-b, ao bloquear a incidência da luz sobre o sensor, a lâmpada LED acende. O professor explicou o circuito LDR (Figura 16).

Figura 15 - Experiência Sensor LDR: (a) lâmpada LED apagada; (b) lâmpada LED aceso.



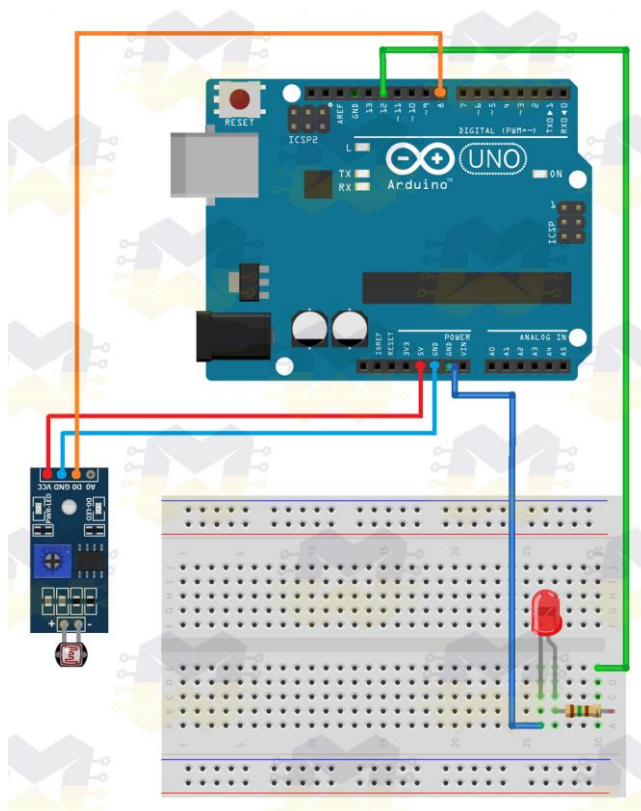
(a)



(b)

Fonte: Próprio autor.

Figura 16 - Circuito LDR com microcontrolador Arduino.



Fonte: Blog MasterWalker.

A seguir, o professor explicou com mais detalhes sobre o efeito fotoelétrico, iniciando com o modelo corpuscular da luz proposto por Newton, a quantização da energia irradiada por um corpo negro (proposta por Planck) e a explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico.

- Atividade 8

Esta aula foi realizada somente na turma do curso de Eletrotécnica, pois neste dia a turma do curso de Administração não compareceu. Para a realização do experimento sobre fotossíntese (Experiência 5), o professor levou para sala de aula quatro potes transparentes (dois encobertos com papel alumínio e dois descobertos), algumas folhas verdes, água e bicarbonato de sódio. Após apresentar os materiais, o professor perguntou aos alunos como as plantas produzem energia. Os alunos responderam prontamente: Fotossíntese! Então, o professor escreveu a equação da fotossíntese e explicitou a importância da luz

neste processo e perguntou aos alunos se havia alguma relação da fotossíntese com a Física. Alguns alunos disseram que sim, mas não sabiam explicar.

Em seguida, dois alunos prepararam o experimento conforme o roteiro e levaram os potes para a expô-los ao sol. Após 20 min, os potes foram trazidos novamente à sala de aula para realizar a observação na superfície das folhas. A Figura 17 mostra os potes preparados para serem expostos à luz solar.

Figura 17- Potes preparados para receber luz solar.



Fonte: Próprio autor.

- Atividade 9

Na 9ª atividade, o professor levou para sala de aula um sensor UV construído com um microcontrolador Arduíno, um sensor UV portátil, uma lâmpada incandescente, uma lâmpada fluorescente eletrônica, uma lâmpada negra (UVA/UVB), lâminas de vidro, hidratante corporal e filtros solar de FPS 30 e 50. Os alunos foram divididos em grupos de 4 a 5 componentes para realização desta atividade. O sensor montado com o microcontrolador mede a irradiância nas faixas UVA e UVB e o

sensor UV portátil, além de medir a irradiância, indica o índice ultravioleta (IUV). O experimento foi montado na mesa do professor e dois componentes de cada grupo, seguindo o roteiro, coletaram as informações. O sensor UV portátil foi usado num local do pátio para verificação da irradiância solar e IUV. A Figura 18 mostra o circuito sensor UV montado com auxílio de microcontrolador Arduino no ambiente interno e a Figura 19 mostra o medidor UV portátil.

Figura 18 - Circuito Sensor UV com auxílio de microcontrolador Arduino.



Fonte: Próprio autor.

Figura 19 - Medidor UV portátil.



Fonte: Próprio autor.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Em 2021, devido à pandemia de covid-19, o ano letivo na rede estadual iniciou de forma híbrida. A partir da 3ª semana de março, devido ao agravamento da crise na saúde, as aulas passaram a ocorrer de forma remota, seguindo assim até a 3ª semana de maio. Da 4ª semana de maio até a 1ª semana de outubro, as aulas voltaram ao formato híbrido. Somente a partir da 2ª semana de outubro, as aulas passaram a ser 100% presenciais.

Em razão da grande perda de aulas presenciais neste ano letivo, houve dificuldade em avançar os conteúdos que serviriam de ancoradouro para o início da aplicação desta sequência didática (SD). Desse modo, somente na 2ª semana de setembro, o professor apresentou aos alunos de duas turmas de 3ª série do Ensino Médio Integrado (uma turma do curso técnico em Eletrotécnica e uma turma do curso técnico em Administração) a proposta de pesquisa de mestrado em Ensino de Física.

No produto, na primeira aula da SD sugere-se a aplicação do questionário prévio, mas devido às aulas ainda estarem de forma híbrida, foi necessário aplicar este questionário de forma virtual, via formulário Google.

- Análise do questionário prévio

Os assuntos do questionário prévio foram: ondas, luz visível, radiação ultravioleta, radiação ionizante e não-ionizante, fator de proteção solar e índice ultravioleta. Dos 56 alunos das duas turmas, apenas 33 estudantes responderam ao questionário. A descrição dos resultados indica que:

Na questão 1 (O que é onda?), 97% dos respondentes marcaram a opção correta (“É uma perturbação provocada em meio que se propaga através do espaço transportando energia e momento linear, mas não transportando matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas ou eletromagnéticas.”).

Na questão 2 (“Qual a diferença entre onda mecânica e onda eletromagnética?”), 76 % dos respondentes marcaram a opção correta (“Uma onda mecânica precisa de um meio material para se propagar; uma onda eletromagnética não precisa de meio material para se propagar, podendo se propagar no vácuo.”).

Na questão 3 (“A luz...”) pedia-se para marcar a opção que completa corretamente sobre o conceito da luz sob o ponto de vista da ondulatória. Nesta questão, 75 % dos respondentes marcaram a opção correta (“é uma onda eletromagnética, transversal e tridimensional”).

Na questão 4 (“Quais dos itens abaixo são exemplos de ondas eletromagnéticas?”), dos 33 respondentes, a maioria identificou corretamente os exemplos de ondas eletromagnéticas, quais sejam: raios X (88%), radiação ultravioleta (76%), luz visível (58%), radiação infravermelha (73%) e onda de rádio (82%). No entanto, verificou-se que uma parcela não desprezível dos respondentes, marcou uma ou mais das opções que não são exemplos de ondas eletromagnéticas, como o infrassom (27%) e ultrassom (42%).

Na questão 5 (“Você sabe a diferença entre radiação ionizante e radiação não ionizante?”), embora a maioria dos respondentes (61%) tenha marcado a opção correta (“Radiação ionizante é a radiação que transporta energia suficiente para arrancar elétrons e radiação não ionizante é aquela cuja energia transportada não é suficiente para arrancar o elétron do átomo.”), 15% marcaram umas das opções incorretas e 24% marcaram a opção “Não sei.”.

Na questão 6 (“A radiação ultravioleta...”), o aluno deveria marcar a opção que completasse corretamente a frase. Verificamos que apenas 30% dos respondentes marcaram a opção correta (“possui maior frequência que a luz visível violeta”), 36% marcaram umas das opções incorretas e 33% marcaram a opção “Não sei.”.

Na questão 7 (“Com que frequência você usa protetor solar?”), 49% dos participantes disseram que usam protetor solar somente no verão, quando vão à praia, 18% disseram que raramente usam, mesmo em dias de alta intensidade de radiação, 15% disseram que usam sempre quando estão expostos à radiação solar, mesmo em dias nublados, mas que não reaplicam o protetor, 15% disseram que usam sempre quando estão expostos à radiação solar, mesmo em dias nublados, reaplicando posteriormente, conforme o tempo de exposição ao sol e 3% disseram nunca usar protetor solar.

Na questão 8 (“O que significa fator de proteção solar (FPS) 10, 20, 30, ...?”), 49% marcaram a opção correta (“É o número que determina o tempo de proteção da radiação solar, impedindo a eritema (vermelhidão da pele). Exemplo: se eu usar protetor FPS 10, eu posso ficar exposto ao sol 10 vezes mais tempo sem que produza a eritema na pele.”), 36% marcaram uma das opções incorretas e 15% disseram não saber.

Na questão 9 (“Você sabe o que é índice ultravioleta (IUV)?”), verificamos que 67% marcaram a opção correta (“Sim. É o índice que mostra a medida da intensidade da radiação solar máxima num determinado dia, num determinado local.”), 3% marcaram uma das opções incorretas e 27% disseram não saber.

Na questão 10 (“Nos meses do verão, frequentemente, realiza-se campanha sobre a prevenção do câncer de pele. Em que locais você já foi informado sobre esta

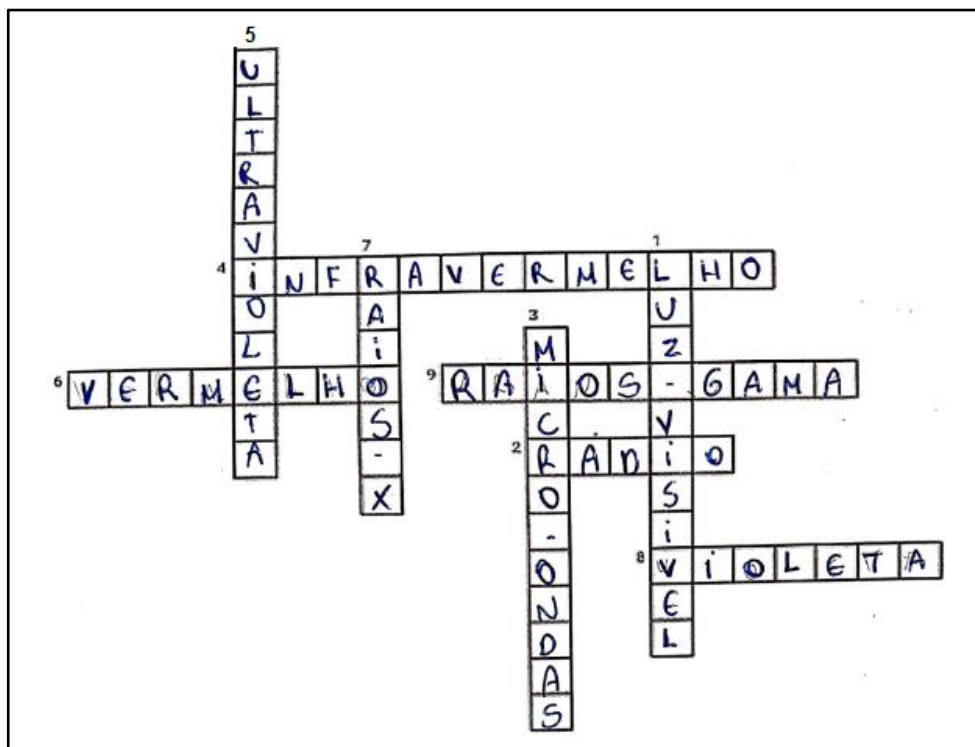
campanha? (Você pode marcar mais de uma opção)”), verificou-se que 67% dos respondentes marcaram a opção Meios de comunicação (TV, rádio, jornais eletrônicos, mídias sociais), 36% marcaram a opção Escola, enquanto que 18% disseram nunca terem sido informados sobre campanha à prevenção do câncer de pele.

Após a aplicação do questionário prévio, verificou-se a necessidade de reforçar o conteúdo de ondas eletromagnéticas. Para isso, uma semana antes da aplicação da sequência didática, foi postado na sala virtual (Google Sala de Aula) material (texto e vídeo) sobre ondas eletromagnéticas. O vídeo está disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=28JVQrLCFtM&t=5s>>. Como atividade para casa, foi solicitado aos alunos que elaborassem 12 a 16 frases do tipo verdadeiro ou falso com resposta. Essa atividade não foi recolhida para avaliação desta pesquisa.

- Atividade 1: Ondas eletromagnéticas

Observou-se nesta atividade a troca de informações nas duplas ou trios de alunos, pois ao tentarem encaixar a palavra eles erravam algumas vezes e, desse modo, precisavam pesquisar sobre as radiações. Esta atividade foi realizada para servir de organizador prévio, uma vez que as radiações luz visível e ultravioleta seriam abordadas nas aulas seguintes. A Figura 20 é a resposta do grupo 5 da turma 3V2Adm.

Figura 20 - Atividade Palavra-cruzadas do grupo 5 da turma 3V2Adm.



Fonte: Próprio autor.

- Atividade 2: Velocidade da luz

Devido a potência do aparelho da escola ser diferente do aparelho onde foi feito o teste inicial do experimento, houve dificuldade em saber qual deveria ser o tempo adequado de aquecimento da barra de chocolate. Na turma de Eletrotécnica a média das medidas da distância entre os dois anti-nós foi 7,5 cm, já na turma de Administração, a média foi 7 cm.

Os valores encontrados para a velocidade da luz na turma de 3V1Elet foi $3,43 \cdot 10^8$ m/s e na turma de 3V2Adm foi $3,67 \cdot 10^8$ m/s. Esta discrepância com o resultado esperado ($3 \cdot 10^8$ m/s) deve-se, provavelmente, ao fato de ter superado o tempo mínimo de derretimento, causando imprecisão na medida do comprimento entre os dois pontos de máximo.

A seguir, discutiu-se se a discrepância do resultado encontrado é um valor aceitável ou não. O professor explicou que, por se tratar de um experimento simples, os

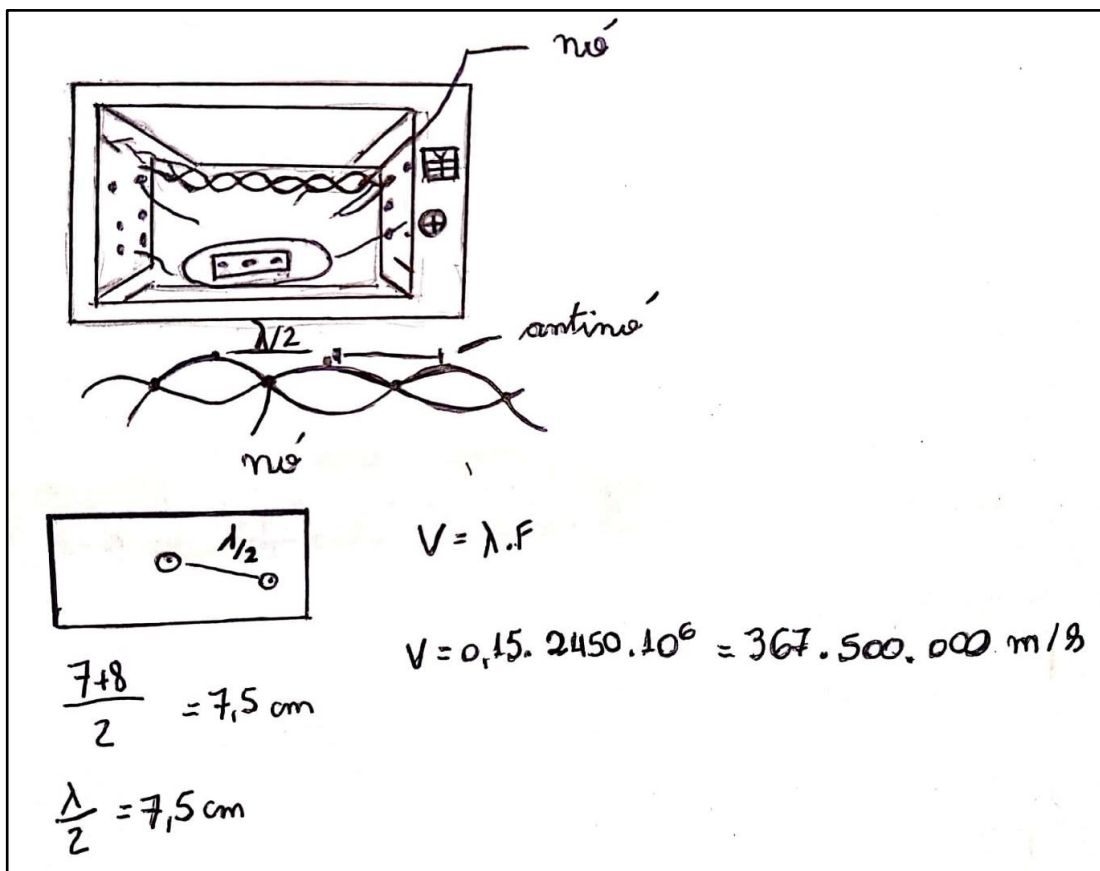
dados obtidos foram de baixa precisão, levando a esta discrepância ao valor esperado. Verificamos que esta atividade possibilitou uma maior aproximação dos alunos com a Física do cotidiano.

No diário de bordo, os alunos fizeram anotações sobre a aula, como o tema, o objetivo, a descrição resumida do experimento e o cálculo da velocidade da luz. Abaixo são transcritos dois relatos, retirados dos diários de bordo de dois grupos da turma 3V1Ele e a Figura 21 mostra a ilustração do experimento e o cálculo feito por um dos grupos da turma dessa mesma turma.

“Na aula de hoje, nós tivemos uma aula dinâmica, com um experimento que nos faria entender como a radiação e a velocidade da luz funcionam. Sabemos como as ondas eletromagnéticas funcionam na teoria, mas hoje podemos ver como as ondas eletromagnéticas funcionam na prática, e tudo isso através do experimento com micro-ondas.” (Grupo 1 - 3V1Ele)

“A partir do experimento, foi possível saber a velocidade da luz, através da análise do comportamento do chocolate no micro-ondas: as partes não derretidas (nós), recebendo o mínimo de energia e as partes derretidas (anti-nós) recebendo mais energia.” (Grupo 2 - 3V1Ele)

Figura 21 - Ilustração do experimento e cálculo para obter a velocidade da luz (grupo 4 - turma: 3v2Ele).



Fonte: Próprio autor.

- Atividade 3: Índice de refração da água

Este experimento possibilitou aos alunos retomar os conceitos de refração e difração da luz, estudados na série anterior e revisitados no início deste ano letivo, acrescentando o comportamento ondulatório da luz.

O resultado experimental do índice de refração da água foi 1,34. O valor encontrado na literatura é 1,33, sendo assim, consideramos um bom resultado experimental. Para exemplificar os relatos dos alunos, foram retirados dos diários de bordo de dois grupos da turma 3V1Ele os seguintes comentários:

" Realizamos um experimento com a refração da luz. Bom, como explicado pelo professor, a difração da luz é um fenômeno ondulatório no qual a onda desvia ou

contorna um obstáculo. [...], realizamos o experimento e foi produtivo, aprendemos como a luz se comporta.” (Grupo 2 - 3V1Ele)

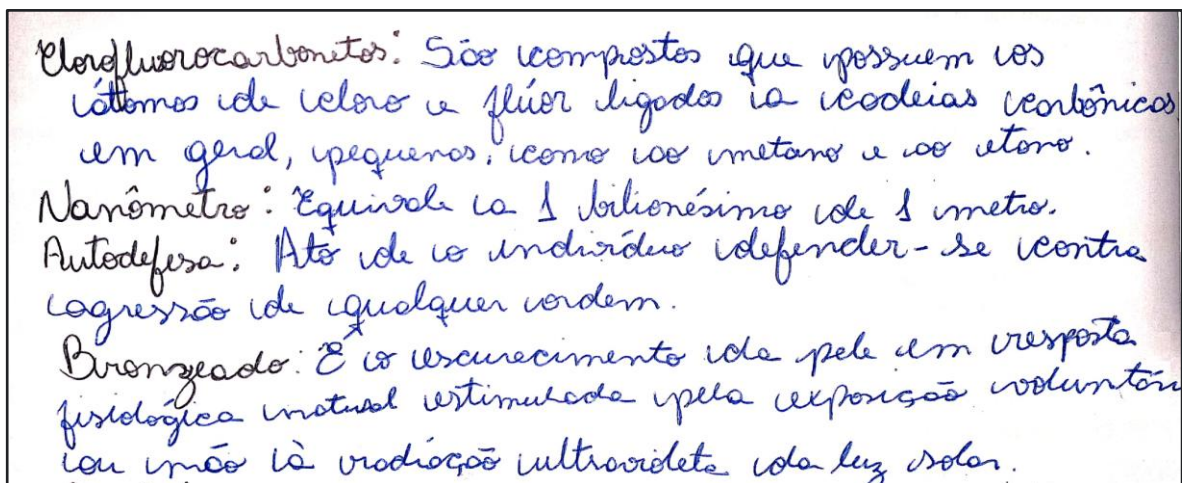
“Inicialmente foi feito um experimento que media o índice de refração da água usando o conceito de difração da luz. Logo depois observamos os valores de x do ar e do x da água. Ao analisar, fizemos contas para comparar o valor obtido com o valor adotado, calculando o erro da medição. A aula foi bem dinâmica pois com o experimento aprendemos o que é refração e difração.” (Grupo 4 - 3V1Ele)

- Atividade 4: Leitura e discussão do texto “Ataque à pele” e elaboração de um glossário

Na 4ª aula, os alunos fizeram grupos de 4 a 5 componentes para leitura e discussão do texto sobre radiação solar. O texto “Ataque à pele” foi publicado na revista Química Nova na Escola em 1995. Após a leitura, foi feita uma breve discussão na qual os alunos destacaram os termos: radiação ultravioleta, radiação UVA, radiação UVB, radiação UVC, bronzamento, eritema, fator de proteção solar, câncer de pele, entre outros. Ao término da discussão, o professor pediu que os alunos fizessem um glossário dos termos que eles destacaram no texto e/ou termos que eles não conheciam.

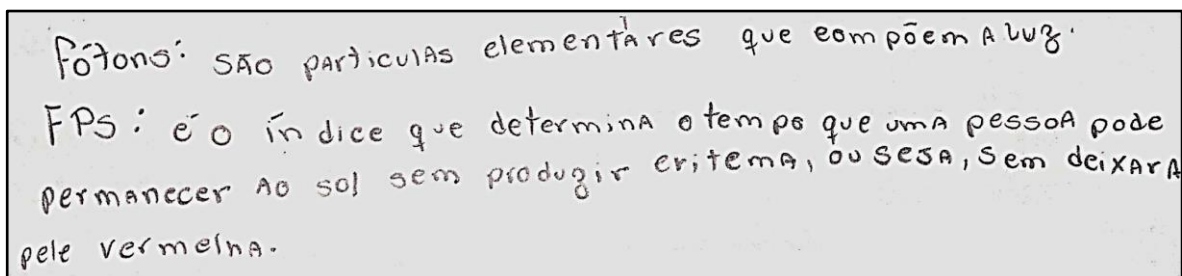
Muitos grupos colocaram no glossário termos relacionados à Física: comprimento de onda, luz visível, infravermelho, ultravioleta, radiação UVA, radiação UVB, radiação UVC etc. Outros grupos colocaram também termos da Química, da Biologia e/ou das Ciências da Saúde: anel benzênico, dióxido de titânio, células epidérmicas, carcinoma, melanoma, fator de proteção solar (FPS) etc. As Figuras 22 e 23 são recortes de glossários elaborados pelos grupos 3 e 5 da turma 3V2Adm.

Figura 22 - Recorte de um glossário elaborado pelo grupo 3, da turma 3V2Adm.



Fonte: Próprio autor.

Figura 23 - Recorte de um glossário elaborado pelo grupo 5 (turma 3V2Adm).



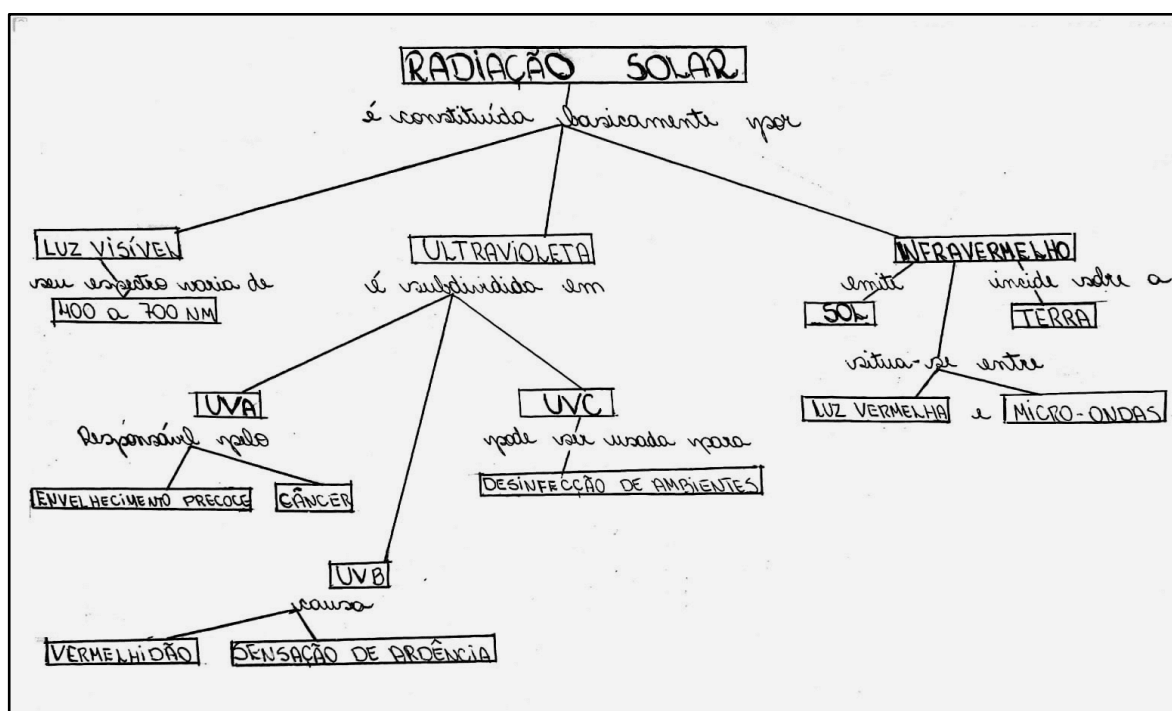
Fonte: Próprio autor.

Observando os termos destacados nestes recortes e os termos presentes nos glossários dos demais grupos, podemos observar que esta atividade se reconcilia com a atividade anterior, pois o artigo retoma o modelo ondulatório da luz. Além disso, ela também se diferencia das anteriores, pois traz novos termos, alguns que serão abordados nas próximas atividades, como o termo fóton que será discutido no modelo corpuscular da luz. Esta atividade possibilitou que os alunos relacionassem a Física com as demais disciplinas da área de Ciências da Natureza. Além disso, possibilitou a relação dessa ciência com as Ciências de Saúde e do Meio Ambiente, uma vez que o texto também informa sobre a prevenção do câncer de pele, envelhecimento precoce e camada de ozônio.

- Atividade 5: Mapa conceitual sobre radiação solar

Quando uma pessoa aprende um determinado conhecimento, as ideias em sua estrutura cognitiva precisam estar organizadas. Os mapas conceituais são ferramentas que nos ajudam a organizar os conceitos, auxiliando assim na estruturação do conhecimento. Ao analisar os mapas conceituais foi possível observar que a maioria dos alunos atingiu o objetivo desta atividade, mostrando as principais informações do tema abordado. A Figura 24 é um mapa conceitual entregue por uma aluna da turma 3V2Adm.

Figura 24 - Mapa conceitual de uma aluna da turma 3V2Adm.



Fonte: Próprio autor.

- Atividade 6: Simulação do efeito fotoelétrico

Nos procedimentos 1 e 2 do roteiro, todos os alunos observaram que não ocorre o efeito fotoelétrico quando se incide luz vermelha sobre metal sódio, não importa a intensidade dessa luz. No procedimento 3, algumas duplas observaram que o metal sódio emite elétrons a partir da luz verde (521 nm), mas outras duplas só perceberam a emissão na luz azul (472 nm). No procedimento 4, os alunos

observaram que quando está ocorrendo efeito fotoelétrico no metal sódio, aumentando-se a intensidade da luz, aumenta-se o número de elétrons emitidos. No procedimento 5, mantendo-se o metal sódio e alterando a radiação para ultravioleta de comprimento de onda 350 nm, os alunos verificaram o aumento na velocidade dos elétrons emitidos.

No procedimento 6, substituindo-se sódio por zinco e colocando a intensidade em 20%, os alunos observaram que o efeito fotoelétrico ocorre somente na faixa do ultravioleta, com comprimento de onda próximo de 280 nm. No procedimento 7, mantendo metal zinco e alterando a intensidade da luz para 100%, a maioria dos alunos observou que a quantidade de elétrons emitidos aumenta, mas houve alguns grupos que não observaram essa alteração. Isto possivelmente ocorreu devido a oscilação da internet. No procedimento 8, selecionando a radiação para UV com menor comprimento de onda (100 nm), os alunos observaram o aumento significativo da velocidade dos elétrons emitidos. No procedimento 9, os alunos observaram que quando a intensidade da radiação diminui, a intensidade de corrente elétrica também diminui. Após os procedimentos, os alunos responderam 5 questões nas quais os termos frequência de corte, energia do fóton e energia cinética dos fotoelétrons foram definidos a partir da simulação.

Na questão 1, todos os grupos responderam que o efeito fotoelétrico não ocorre com radiação de qualquer frequência e que existe uma frequência mínima (frequência de corte) para ocorrer o efeito fotoelétrico.

Na questão 2, verificou-se que a maioria dos grupos não percebeu que ao trocar do metal sódio para o metal zinco, o fóton incidente deve possuir maior energia. Todavia, a maioria destes alunos concorda que a energia do fóton é diretamente proporcional à frequência.

Na questão 3, todos os grupos responderam corretamente que aumentando-se a intensidade da radiação, aumenta-se a quantidade de elétrons emitidos e não a velocidade destes elétrons.

Na questão 4, verificou-se que todos os grupos responderam corretamente sobre a relação entre frequência de corte e função trabalho (quanto maior a função trabalho, maior é a frequência de corte).

A questão 5 foi a de maior dificuldade para os alunos. Para que os alunos compreendessem a equação da energia cinética, o professor fez a seguinte comparação: Você recebe 100 reais, mas o governo cobra 15% de imposto de renda, então o dinheiro que efetivamente poderá ser usufruído por você será 85 reais. Semelhantemente, se o elétron recebesse do fóton uma energia de 100 eV, mas tivesse que “pagar” ao átomo uma taxa de 15% sobre a energia recebida para ser ejetado, então ele seria ejetado do átomo com 85 eV de energia cinética. Essa comparação serviu para recordar a conservação da energia, uma lei física que foi apresentada aos alunos na 1ª série no estudo de energia mecânica e na 2ª série no estudo de termodinâmica.

- Atividade 7: Sensor LDR

Esta atividade retomou o conceito da atividade anterior, mas agora com um experimento físico real, no qual os estudantes puderam visualizar o efeito fotoelétrico. Estava previsto que os estudantes se reunissem em grupo para responder as questões do roteiro, porém, o professor verificou ser necessário explicar o contexto histórico que levou Einstein a formular sua teoria para o efeito fotoelétrico.

- Atividade 8: O processo da fotossíntese

No pote número 1 (pote sem papel alumínio com bicarbonato de sódio) formaram-se várias bolhas de gás oxigênio na superfície das folhas (Figura 25), enquanto nos demais potes isto não ocorreu ou ocorreu muito pouco (pote 3). A Figura 26 mostra o pote 4 (pote com água + bicarbonato de sódio, coberto com papel alumínio).

Figura 25 - Folha verde num pote com água e bicarbonato de sódio, após a incidência de luz solar.



Fonte: Próprio autor.

Figura 26 - Folha verde num pote com água e bicarbonato de sódio, na ausência de luz solar.



Fonte: Próprio autor.

Após a observação, o professor explicou o processo que ocorre nos cloroplastos (a absorção de fótons e liberação de elétrons pelas clorofilas) e relacionou ao efeito fotoelétrico. Ao final, o professor pediu que os alunos relatassem esta aula no diário de bordo e entregassem na aula seguinte pois não havia mais tempo suficiente. O

parágrafo seguinte é a transcrição do trecho de um diário de bordo da turma 3V1Ele.

“O tema da aula foi fotossíntese e efeito fotoelétrico, bom o efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material geralmente metálico. A relação que esses dois fenômenos possuem é que a clorofila absorve fótons da luz solar e liberam elétrons, iniciando a cascata de transferência de energia que ocorre durante o processo de fotossíntese.” (Grupo 1 - 3V1 Elet).

- Atividade 9: Sensor UV

Inicialmente o professor demonstrou o experimento com lâmpada incandescente (Figura 27), lâmpada fluorescente eletrônica (Figura 28) e lâmpada negra (Figura 29). Os alunos verificaram que a irradiância varia conforme a posição da lâmpada, mas o que mais chamou atenção deles foi a diferença de irradiância UV ao passar da lâmpada incandescente para fluorescente e por último, para lâmpada negra.

Após essa demonstração, um aluno de cada grupo foi chamado para seguir os procedimentos do roteiro. Ao incidir a radiação UV diretamente sobre o sensor, a irradiância medida foi $1,10 \text{ mW/cm}^2$. Quando os alunos colocaram uma lâmina de vidro limpa sobre o sensor, a irradiância medida foi $0,98 \text{ mW/cm}^2$. Quando os alunos colocaram uma lâmina de vidro coberta por hidratante sobre o sensor, a irradiância medida foi $0,85 \text{ mW/cm}^2$. Mas a grande surpresa ocorreu quando os alunos colocaram uma lâmina de vidro coberta com filtro solar FPS 30 sobre o sensor, pois a irradiância medida foi reduzida significativamente para $0,04 \text{ mW/cm}^2$. Não foi verificada diferença no curto intervalo de tempo de exposição à luz UV, quando foi substituído o filtro solar FPS 30 por outro de FPS 50. Após a realização dos procedimentos, os alunos responderam três questões sobre o experimento.

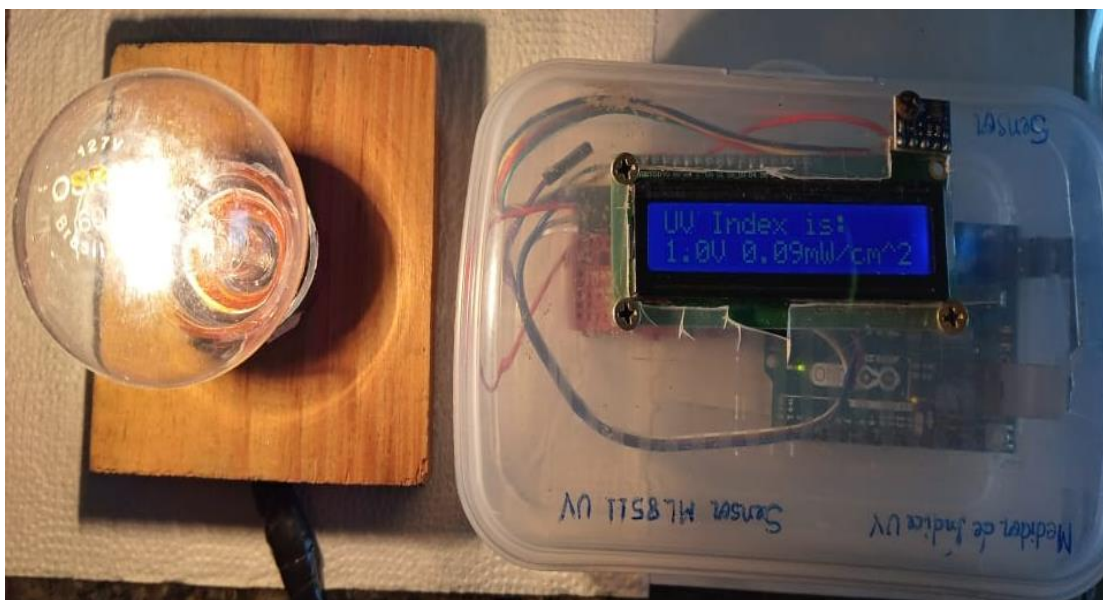
Na questão 1, os alunos observaram que os hidratantes não protegem a pele da radiação UV, pois reduziram muito pouco a radiação incidente sobre o sensor. No entanto, eles observaram a proteção oferecida pelos filtros solares, pois a radiação sobre o sensor diminuiu significativamente.

Na questão 2, observou-se que muitos alunos confundem a sigla FPS com filtro solar, mas esses estudantes demonstraram saber a importância do uso de protetor solar para evitar envelhecimento precoce e câncer de pele.

Na questão 3, observou-se que muitos alunos confundem IUUV (índice ultravioleta) com radiação ultravioleta, mas muitos grupos conseguiram perceber a relação entre FPS, IUUV e câncer de pele, como mostra a transcrição de um dos grupos abaixo.

“O IUUV mede a quantidade de ultravioleta no ambiente e o FPS calcula quanto tempo estou protegido, e os dois ajudam as pessoas a se cuidarem e evitarem queimaduras e câncer de pele.” (Grupo 4)

Figura 27 - Irradiância de uma lâmpada incandescente.



Fonte: Próprio autor.

Figura 28 - Irradiância de uma lâmpada fluorescente eletrônica.



Fonte: Próprio autor.

Figura 29 - Irradiância de uma lâmpada negra.



Fonte: Próprio autor.

- Análise do questionário final

Na última 11ª aula foi aplicado um questionário (Apêndice H) com 10 questões (sendo 6 objetivas e 4 discursivas) sobre radiação ultravioleta, fenômenos ondulatórios e corpusculares da luz. Devido ao fato deste questionário ter sido aplicado na última semana de aulas, somente 30 alunos (15 alunos de cada turma) responderam a este teste.

O resultado da questão 1 mostrou que 73% dos respondentes identificaram corretamente os processos físicos que ocorrem para que o filtro solar proteja a pele (reflexão e absorção).

O resultado da questão 2 mostrou que 30% dos respondentes identificaram corretamente os processos físicos mostrados na figura desta questão (difração e interferência).

O resultado da questão 3 mostrou que 37% dos respondentes marcou a opção correta acerca da energia e velocidade dos fótons da luz amarela em comparação aos fótons da luz violeta (têm menor energia e mesma velocidade).

O resultado da questão 4 mostrou que 60% dos respondentes responderam corretamente sobre a energia do fóton.

O resultado da questão 5 mostrou que 97% dos respondentes marcaram a opção correta sobre o fenômeno que só pode ser explicado com o comportamento corpuscular da luz (efeito fotoelétrico).

O resultado da questão 6 mostrou que 33% dos respondentes marcaram a opção correta que contém apenas afirmativas verdadeiras sobre o efeito fotoelétrico.

Na questão 7, verificou-se que 67% dos respondentes associaram o efeito fotoelétrico ao funcionamento do sensor LDR.

Na questão 8, observou-se que 40% dos respondentes souberam associar fotossíntese ao efeito fotoelétrico. Este resultado deve-se, possivelmente, ao não comparecimento de uma das turmas na aula sobre este tema.

Na questão 9, observou-se que 63% dos respondentes souberam relacionar os termos radiação ultravioleta, FPS e IUV com a proteção da pele, como na transcrição mostrada abaixo.

“A radiação ultravioleta, principalmente UVA e UVB que entram na atmosfera da Terra pode causar queimadura e câncer de pele, por isso para proteção solar se usa o filtro solar que contém o FPS que especifica o tempo de proteção, e pelo índice ultravioleta dá para ver quanto de radiação é emitida.” (Aluno A27 - turma 3V2Adm).

Na questão 10, esperava-se que o aluno pudesse concluir sobre o comportamento dual da luz, no entanto, observou-se que a resposta de 37% dos respondentes atendeu parcial ou completamente ao esperado, 7% não atenderam e 40% não responderam esta questão. A resposta de dois dos respondentes é mostrada abaixo.

“A natureza da luz é onda e partícula, ou seja, a luz se propaga como uma onda e interage como partícula.”. (Aluno A13 - turma 3V2Adm).

“Dependendo da situação, a luz se comporta como onda ou partícula.”. (Aluno E12 - turma 3V1Ele).

De acordo com as respostas das questões 5 e 6, pôde-se verificar uma contradição, pois na questão 5 a maioria dos respondentes associou o efeito fotoelétrico ao comportamento corpuscular da luz, mas na questão 6, a maioria marcou erradamente a opção que contém a afirmativa II (O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo ondulatório para a luz). Possivelmente, isto ocorreu devido à falta de atenção dos alunos ao se analisar as afirmativas da questão 6.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na aplicação da SD, verificamos que ao iniciar as aulas com uma situação-problema e discutir sobre possíveis soluções pode fazer com que um conteúdo tenha significado para o aluno. Verificamos também que é preciso conhecer o que o aluno já sabe antes de começar um conteúdo novo. Do mesmo modo, é preciso que iniciemos um conteúdo dos aspectos mais gerais para os aspectos mais específicos, de modo que ocorra simultaneamente a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora dos conceitos, proposições e ideias na estrutura cognitiva do aprendiz.

Considerando que no ano de 2021, ainda em período de pandemia, mais da metade das aulas foram não presenciais e que isso gerou um grande prejuízo na aprendizagem, mesmo assim, conseguimos verificar maior interesse e participação dos alunos ao realizar as atividades dessa SD sobre FMC.

Após analisarmos os dados obtidos desta dissertação, percebemos que cada atividade realizada contribuiu para o processo de aprendizagem. Até mesmo a atividade “Palavras-cruzadas sobre ondas eletromagnéticas” que pareceu ser a mais simples foi importante para a sequência de aulas. A atividade “Mapa Conceitual sobre radiação solar” permitiu organizar as informações sobre radiação solar na estrutura cognitiva dos alunos. Os experimentos, mesmos os mais simples, possibilitaram visualização dos fenômenos envolvendo a luz (visível ou violeta) que conduziram os estudantes a reconhecer o comportamento dualístico da luz (onda-partícula). E o último experimento com sensor UV teve aplicação prática dos conceitos da FMC e revelou para os estudantes a importância do protetor solar para evitar envelhecimento precoce e câncer de pele. Dessa maneira, acreditamos que a aplicação desta SD contribuiu para a formação aluno-cidadão tendo em vista a importância social dos temas abordados neste trabalho.

6. TRABALHOS FUTUROS

Para novos trabalhos, convém aperfeiçoar a confecção dos experimentos construídos nesta SD. Além disso, acreditamos que poderíamos complementar o estudo da natureza da luz adicionando algum experimento sobre radiação infravermelha.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMIRAL, T. D. Experimento de difração luminosa utilizando coleta de dados totalmente automatizada por Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, e20200139, 2020.

ALONSO, M.; FINN, E. J. **Física**: um curso universitário. 2. ed. Coordenador de tradução: Giorgio Moscati. São Paulo: Blucher, 2015.

ANJOS, E. **Dualidade Onda-Partícula da Luz**: uma abordagem para o Ensino Médio. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Blumenau, 2019.

ARAÚJO, S. M.; SILVA, F. W. O. A teoria ondulatória de Huygens em livros didáticos para cursos superiores. **Ciência e Educação**, v. 15, n. 2, p. 323-41, 2009.

BENAQUIO, W. C. **Elaboração e aplicação de um material instrucional baseado na aprendizagem significativa sobre o efeito fotoelétrico para alunos do ensino médio**. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2016.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB)**. Lei 9394/1996.

_____. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília, 2018.

BROCKINGTON, G. **A realidade escondida**: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. . Acesso em: 27 jul. 2021.

CABRAL, L. D. S.; PEREIRA, S. O.; PARTATA, A. K. Filtros solares e fotoprotetores mais utilizados nas formulações no Brasil. **Revista Científica do ITPAC**, Araguaína, v.4, n.3, Pub.4, Julho 2011.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna**: origens clássicas e fundamentos quânticos. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. **Física moderna**: experimental e aplicada. 2. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

COELHO, G. R. O entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 1: p. 63-87, ,2010.

Como usar com Arduino – Módulo Fotorresistor (Sensor) LDR. **Blog MasterWalker**. Disponível em:

<<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-modulo-fotoresistor-sensor-ldr>>. Acesso em: 10/02/2021.

COSTA, M. L.; SILVA, R.R. Ataque à pele. **Química Nova na Escola**, n. 2, p. 3-7, 1995.

DALMOLIN, C. **Sequência didática como instrumento para a aprendizagem significativa de Radiação Ultravioleta e Raios X**. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós Graduação em Ensino de Física, Florianópolis, 2018.

FLORES, P. A. Q.; ESCOLA, J.J. **O futuro hoje: ser professor no séc. XXI**. I Congresso Internacional em Estudos da Criança – Infâncias Possíveis, Mundos Reais, In 7º Encontro Nacional, 5º Internacional - Investigação em Leitura, Literatura Infantil & Ilustração, Braga, 2008.

FRANCO, L. W. **Radiação UV: efeitos, riscos e benefícios à saúde humana – proposta de sequência didática para o ensino de Física**. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Presidente Prudente, 2018.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n.3, p. 20-29, mai/ jun, 1995.

GUIMARÃES, A. L. Questões de aprendizagem: corporalidade e educação de jovens e adultos. In: SUCUPIRA LINS, M. J. C.; MIRANDA, B. R. C. (Org.). **Ausubel e Bruner: questões sobre aprendizagem**. Curitiba: Editora CRV, 2018. p. 13-24.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). O que é radiação ultravioleta. Disponível em < <http://satelite.cptec.inpe.br/uv/>>. Acesso em 15/04/2021.

LDR & LED light. **Arduíno project Hub**. Disponível em: <https://create.arduino.cc/projecthub/Kenpoca_Dias/ldr-led-light-1147c3>. Acesso em: 12/02/2021.

MARTINS, R. A.; ROSA, P. S. **História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein e De Broglie**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

MONTEIRO, L.P. **Concepções da dualidade da luz onda-partícula para estudantes da 3ª. série do Ensino Médio: uma abordagem com “microcontroladores”**. Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus Cariacica, Programa de Pós-Graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Cariacica, 2017.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

_____. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências**: Comportamentalismo, Construtivismo e Humanismo. 2. ed. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/>>. Acesso em 15/11/2021.

OLIVEIRA, R. A.; MARTINS, A. F. P.; SILVA, A. P. B. Thomas Young e a teoria ondulatória da luz no início do século XIX: aspectos conceituais e epistemológicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 2, 2019.

PEREZ, S. **Mecânica quântica**: um curso para professores da educação básica. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

PORTO, C. M. O atomismo grego e a formação do pensamento físico moderno. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, 2013.

SARTORI, P. H. S.; SEPEL, L. M. N.; LORETO, E. L. S. **Radiações, moléculas e genes**: atividades didático-experimentais. 1. ed. Ribeirão Preto: Editora RBG, 2008.

SILVA, B. V.C. **Controvérsias sobre a natureza da luz**: uma aplicação didática. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, Natal, 2010

SILVA, F. R. **Estudo da radiação ultravioleta na Cidade de Natal-RN**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SILVA, W. C. **Radiação Ultravioleta**: inserção de Física Moderna no Ensino Médio por meio dos efeitos biológicos da radiação UV. Dissertação (mestrado - Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Mestrado Profissional em Ensino de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, 2017.

SOARES, F. M. R. Teorias de aprendizagem segundo Jerome Bruner e David Ausubel: a formação ética com o uso das tecnologias na educação. In: SUCUPIRA LINS, M. J. C.; MIRANDA, B. R. C. (Org.). **Ausubel e Bruner**: questões sobre aprendizagem. Curitiba: CRV, 2018. p. 61-72.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. UFES-coronavírus. Disponível em: <<https://coronavirus.ufes.br/conteudo/ufes-desenvolve-camara-para-desinfeccao-capaz-de-destruir-o-coronavirus>>. Acesso em 20/10/2021.

VILAR, R. C.C. **Uma estratégia de ensino diferenciada para o estudo de tópicos de física moderna**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós Graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Vitória da Conquista, 2020

YAMAMOTO, A. L. C.; CORRÊA, M. P.; CCOYLLO, O. R. S. Avaliação e análise da série temporal da radiação UV coletadas em diferentes cidades peruanas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 298-305, 2018.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: Ótica e Física moderna**. Tradução de Daniel Vieira. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

8. APÊNDICES

APÊNDICE A

Questionário de conhecimentos prévios

1) O que é uma onda?

- a) É uma perturbação que necessariamente precisa de um meio material para se propagar transportando energia, momento linear e matéria.
- b) É uma perturbação provocada em meio que se propaga através do espaço transportando energia e momento linear mas não transporta matéria. As ondas podem ser classificadas com relação à sua natureza de vibração como mecânicas ou eletromagnéticas.
- c) É uma perturbação que não precisa de meio material para se propagar e assim transportar energia e momento linear.
- d) É uma perturbação que faz o meio vibrar somente na mesma direção de propagação da onda, transportando matéria e energia.
- e) Não sei.

2) Qual a diferença entre onda mecânica e onda eletromagnética?

- a) Uma onda mecânica faz o meio vibrar perpendicularmente à sua propagação; uma onda eletromagnética faz o meio vibrar na direção paralela à sua propagação.
- b) Uma onda mecânica precisa de um meio material para se propagar; uma onda eletromagnética não precisa de meio material para se propagar, podendo se propagar no vácuo.
- c) Uma onda mecânica não precisa de um meio material para se propagar, podendo se propagar no vácuo; uma onda eletromagnética precisa de um meio material para se propagar.
- d) Uma onda mecânica só se propaga no vácuo; uma onda eletromagnética não se propaga no vácuo.
- e) Não sei.

3) A luz...

- a) é uma onda mecânica, transversal e tridimensional.
- b) é uma onda eletromagnética, transversal e tridimensional.
- c) é uma onda eletromagnética, transversal e bidimensional.
- d) é uma onda mecânica, longitudinal e tridimensional.
- e) Não sei.

4) Quais dos itens abaixo são exemplos de ondas eletromagnéticas? (Você pode marcar mais de uma opção)

- () Raio-X
- () Onda sonora audível ao ser humano
- () Radiação ultravioleta (RUV)
- () Luz visível
- () Radiação infravermelha (RIV)
- () Infrassom
- () Onda de rádio
- () Ultrassom
- () Corda vibrando

5) Você sabe a diferença entre radiação ionizante e radiação não ionizante?

- a) Radiação ionizante possui muitos íons e radiação não ionizante não possui íons.
- b) Toda radiação ionizante elimina vírus e bactérias, enquanto toda radiação não ionizante não os elimina.
- c) Radiação ionizante é benéfica ao ser humano e radiação não ionizante não é benéfica ao ser humano.
- d) Radiação ionizante é aquela cuja energia transportada é suficiente para arrancar elétrons dos átomos e radiação não ionizante é aquela cuja energia transportada não é suficiente para isto.
- e) Não sei.

6) A radiação ultravioleta...

- a) possui maior comprimento de onda que a luz visível violeta.
- b) possui maior frequência que a luz visível violeta.
- c) possui menor frequência que a luz visível violeta.
- d) possui menor velocidade que a luz visível violeta.
- e) Não sei.

7) Com que frequência você usa protetor solar?

- a) Sempre que estou exposto(a) à radiação solar, mesmo em dias nublados, reaplicando posteriormente conforme o tempo de exposição.
- b) Sempre que estou exposto(a) à radiação solar, mesmo em dias nublados, mas não reaplicando depois.
- c) Uso somente no verão quando vou à praia.
- d) Raramente uso protetor solar, até mesmo nos dias de alta intensidade de radiação.
- e) Nunca uso protetor solar.

8) O que significa fator de proteção solar (FPS) 10, 20, 30, ...?

- a) É o número que representa o tempo de proteção da radiação solar: FPS 10 protege 10 min, FPS 20 protege 20 min etc.
- b) É o número que representa a porcentagem de proteção à radiação solar: FPS 10 protege 10 %, FPS 20 protege 20 % etc.
- c) É o número que representa a espessura de proteção da radiação solar: FPS 10 protege até 0,10 mm, FPS 20 protege até 0,20 mm etc.
- d) É o número que determina o tempo de proteção da radiação solar, impedindo a eritema (vermelhidão da pele. Se usar protetor FPS 10 eu posso ficar exposto ao sol 10 vezes mais tempo sem que produza eritema na pele.
- e) Não sei.

9) Você sabe o que é índice ultravioleta (IUV)?

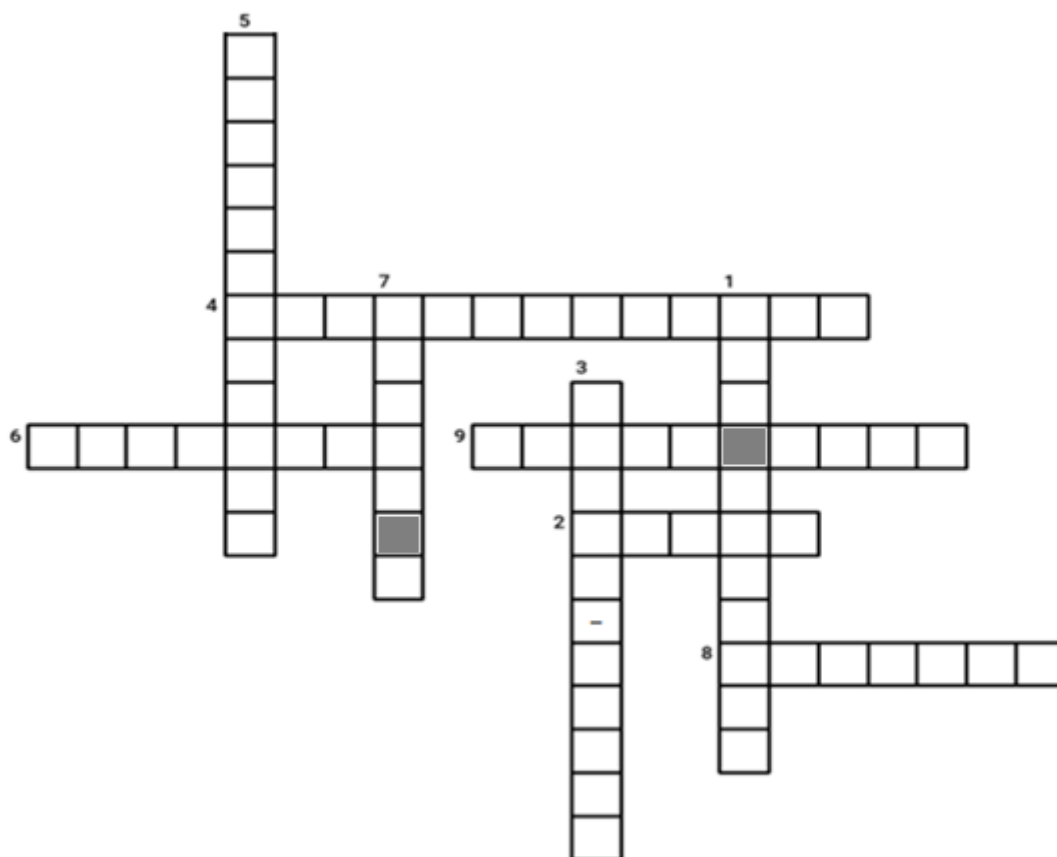
- a) Sim. É o índice que mostra a medida da intensidade da radiação solar máxima num determinado dia, num determinado local.
- b) Sim. É o índice que mostra o tempo que posso ficar exposto ao Sol.
- c) Sim. É um número que indica a mínima proteção solar.
- d) Sim. É um número que indica a maior frequência da radiação ultravioleta.
- e) Não sei.

10) Nos meses do verão, frequentemente realiza-se campanha sobre a prevenção do câncer de pele. Em que locais você já foi informado sobre esta campanha? (Você pode marcar mais de uma opção)

- () Escola
- () Meios de comunicação (TV , rádio, jornais eletrônicos, mídias sociais)
- () Em meio familiar
- () Em outros locais
- () Nunca fui informado sobre esta campanha

APÊNDICE B

PALAVRAS-CRUZADAS SOBRE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS



Horizontal

2. Quando estas ondas eletromagnéticas estão na faixa entre 10 kHz e 10 MHz, podem ser refletidas na ionosfera.
4. Esta radiação é originada da agitação térmica que constituem os corpos.
6. É a faixa da luz visível de maior comprimento de onda.
8. É a faixa da luz visível de menor comprimento de onda.
9. Esta radiação é produzida em processos de fissão nuclear, fusão nuclear e decaimento radioativo.

Vertical

1. Esta radiação possui comprimentos de onda que variam de 400 nm a 700 nm.
3. A aplicação mais conhecida destas ondas é o aquecimento de alimentos, mas elas também são usadas nas telecomunicações.
5. Os efeitos biológicos de uma das faixas dessa radiação, nos seres humanos, provocam o bronzeamento da pele.
7. Esta radiação foi descoberta acidentalmente pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen.

APÊNDICE C

Experiência 1

Obtendo a velocidade de propagação da luz com auxílio de um forno de micro-ondas.

I – Introdução:

Até o século XVII se acreditava que a propagação da luz era instantânea, ou seja, sua velocidade era infinita. Uma das primeiras tentativas para se medir a velocidade da luz foi feita por Galileu. Ele tentou medir o tempo que um feixe luminoso demoraria para percorrer uma dada distância. No entanto, sem aparelhos de medida bastante sensíveis seria impossível obter um valor para este tempo e o experimento fracassou. Uma medida bastante precisa foi feita pelo físico francês H.L. Fizeau, por volta de 1849, usando um dispositivo óptico constituído de dois espelhos e uma roda dentada que permitia ao observador sincronizar os raios incidente e refletido. Mais tarde o físico e astrônomo francês Jean Bernard Léon Foucault adaptou o experimento de Fizeau e calculou a velocidade com bastante precisão. Fez ainda comparações entre a velocidade da luz se propagando na água e no ar. Experimentos mais precisos foram feitos, dentre eles as técnicas precisas desenvolvidas pelo físico A. A. Michelson, e hoje o valor exato da velocidade da luz é $c = 299.792.458$ m/s. Em sua teoria eletromagnética, J. C. Maxwell mostrou que toda onda eletromagnética se propaga com a velocidade igual à da luz. Podemos ainda medir a velocidade v de propagação de uma onda eletromagnética através da medição direta de sua frequência f e comprimento de onda λ da forma:

$$v = \lambda.f \quad (1.1)$$

Neste experimento vamos medir a velocidade da luz a partir da radiação de micro-ondas.

II – Objetivo:

Medir a velocidade das micro-ondas e por consequência a velocidade da luz;

III – Materiais utilizados:

- Forno de micro-ondas;
- Prato para micro-ondas;
- Barra de chocolate;

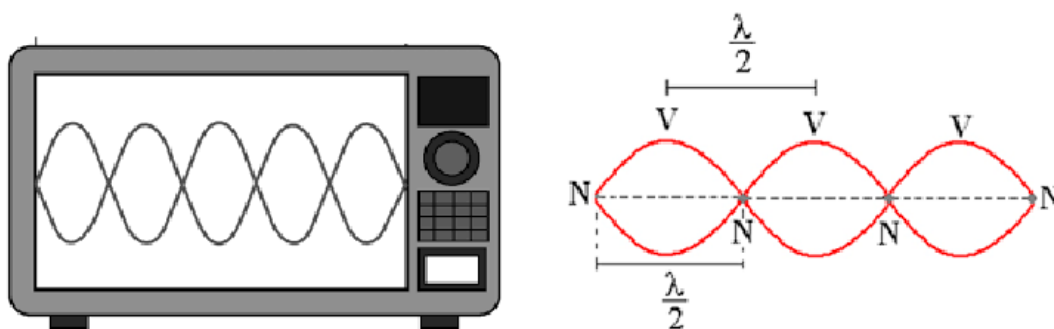
- Régua.

IV - Procedimentos:

- Retire o trilho do prato do micro-ondas para impedir o prato girar;
- Coloque a barra de chocolate para aquecer por 5s.
- Meça a distância entre os dois pontos onde o chocolate derreteu. Caso o chocolate não tenha derretido em nenhum ponto, aqueça-o por mais 5s.
- Verifique a frequência das micro-ondas do seu forno. Você pode verificar a frequência em um adesivo colocado na parte de trás ou procure no manual do forno de micro-ondas. O valor mais frequente é 2450 MHz ($2.45 \times 10^9\text{Hz}$).

A figura 1.1 mostra as ondas estacionárias em um forno de micro-ondas. As partes não derretidas correspondem aos nós (N) da onda, pontos que recebem o mínimo de energia. E as partes derretidas são os anti-nós ou ventres (V), isto é, os extremos da oscilação que correspondem aos pontos que receberam mais energia. O espaço entre dois pontos onde houve derretimento corresponde à metade do comprimento de onda.

Figura 1.1 - As ondas estacionárias de um forno de micro-ondas.



Fonte: Editora Opirus. Disponível em: http://www.editoraopirus.com.br/uploads/go/materiais/tarefa_semanal/go-tarefa-semanal-3-serie-e-curso-5e8326acd278a.pdf

V – Análise:

1. Qual foi o comprimento de onda obtido para esta onda?
2. Obtenha dos demais grupos o comprimento de onda medido por eles; obtenha um valor médio para o comprimento de onda.

3. Utilize a equação (1.1) para medir a velocidade da onda eletromagnética utilizada no micro-ondas.

Referências:

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALKER, J.; **Fundamentos de Física**, v. IV, LTC, 8 ed, 2008.

Medir a Velocidade da Luz em um Forno Micro-ondas. Disponível em: <

Experiência 2

Obtendo o índice de refração da água usando padrão de interferência da luz

I – Introdução:

Difração é um fenômeno ondulatório no qual a onda desvia ou contorna um obstáculo. A difração ocorre em todos os tipos de ondas. Os efeitos de difração são apreciáveis quando os obstáculos ou aberturas são de dimensões comparáveis ao comprimento de onda. A difração do som é mais facilmente percebida do que a difração da luz, pois o comprimento de onda do som é da ordem de 1 m, enquanto que o comprimento de onda da luz visível é da ordem de $5 \cdot 10^{-7}$ m.

O CD é constituído com trilhas da ordem de $1,6 \mu\text{m}$ ($1,6 \cdot 10^{-6}$ m) onde são armazenados os dados, e esse dispositivo funciona como uma rede de difração por reflexão ou transmissão da luz, que é usada neste experimento retirando a película protetora (Figura 2.1).

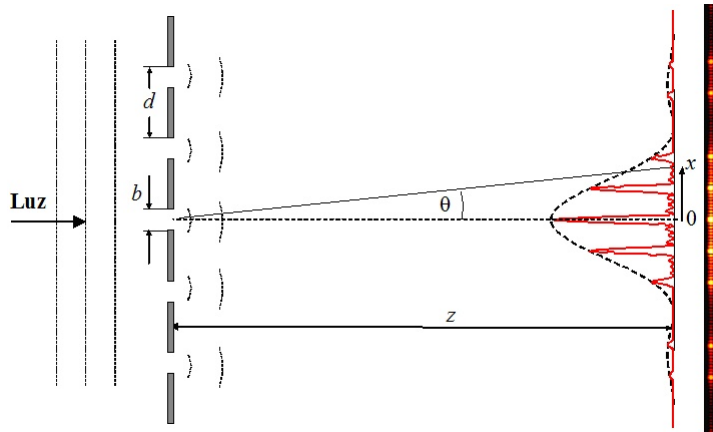
Figura 2.1- Rede de difração de um CD.



Fonte: Próprio autor

Uma rede de difração é um dispositivo que possui um número muito grande de fendas ou ranhuras que pode chegar a milhares por milímetro. Quando as fendas são iluminadas com luz monocromática (um laser, por exemplo) aparecem franjas de interferência que podem ser usadas para determinação do comprimento de onda da luz. (Figura. 2.2).

Figura 2.2 - Figura de difração de uma rede de difração



Fonte: <https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/roteiros-do-laboratorio/3-difracao-de-fendas/>

A equação da rede de difração é dada por:

$$d \cdot \text{sen} \theta = m \lambda, \text{ para } m = 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

onde d é a constante da rede de difração (e nesse caso $d = 1,6 \text{ mm}$), λ é o comprimento de onda da ponteira laser, o ângulo θ localiza as ordens de difração e m é a ordem da difração.

Neste experimento, vamos considerar somente a 1ª ordem e compararemos a difração do laser no ar e na água, portanto:

$$d \cdot \text{sen} \theta_{\text{ar}} = \lambda_{\text{ar}} \text{ e } d \cdot \text{sen} \theta_{\text{água}} = \lambda_{\text{água}}$$

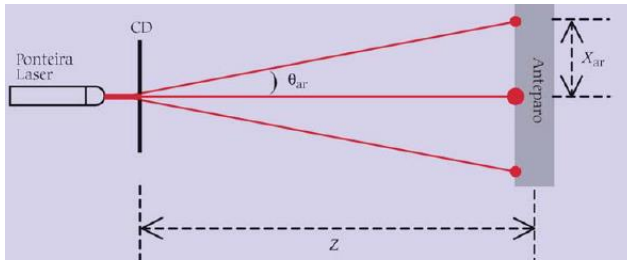
Dividindo as equações acima, teremos:

$$\frac{\text{sen} \theta_{\text{ar}}}{\text{sen} \theta_{\text{água}}} = \frac{\lambda_{\text{ar}}}{\lambda_{\text{água}}} \quad (2.2)$$

Observando na figura 2.3, podemos expressar o seno do ângulo em função das medidas x e z , onde x é a distância do ponto central ao ponto de ordem 1 e z é a distância da fenda ao anteparo.

$$\text{sen} \theta = \frac{x}{\sqrt{x^2 + z^2}}$$

Figura 2.3 - Representação esquemática da difração.



Fonte: Silva e Muramatsu (2007).

Substituindo na equação 2.2, obtemos a equação 2.3:

$$\frac{\lambda_{ar}}{\lambda_{\acute{a}gua}} = \frac{x_{ar} \cdot \sqrt{x_{\acute{a}gua}^2 + z^2}}{x_{\acute{a}gua} \cdot \sqrt{x_{ar}^2 + z^2}} \quad (2.3)$$

Quando a luz muda do ar para a água, ocorre o fenômeno da refração. A grandeza que indica o quanto a velocidade da luz foi alterada ao mudar de meio é o índice de refração $n = c/v$, onde c = velocidade da luz no vácuo e v = velocidade da luz no meio material.

Sendo a fonte de luz a mesma nos dois meios, então a frequência é a mesma ($f = v/\lambda$) e sendo $v = c/n$, teremos:

$$\frac{\lambda_{ar}}{\lambda_{\acute{a}gua}} = \frac{n_{\acute{a}gua}}{n_{ar}}$$

Considerando $n_{ar} = 1$, teremos:

$$n_{\acute{a}gua} = \frac{x_{ar} \cdot \sqrt{x_{\acute{a}gua}^2 + z^2}}{x_{\acute{a}gua} \cdot \sqrt{x_{ar}^2 + z^2}} \quad (2.4)$$

II - Objetivo:

Medir o índice de refração da água utilizando o fenômeno da difração da luz.

III - Materiais utilizados:

- Apontador laser;
- Peça de CD sem a película protetora;
- Pote de plástico transparente (pode ser de maionese);
- Água;
- Fita adesiva;
- Régua;

- Tesoura;
- Papel milimetrado.

IV – Procedimentos:

1) Com a tesoura, corte o CD como mostrado na figura 2.1. Faça um traço vertical com lápis no papel milimetrado e fixe-o externamente numa das faces com a fita adesiva. Na face oposta, verifique a posição do CD tal que a luz ao incidir no papel fique centralizada. Fixe o CD com a fita adesiva. A figura 2.4 mostra a montagem.

Figura 2.4 - Montagem do experimento.



Fonte: Próprio autor.

- 2) Meça a distância entre o CD e o papel milimetrado ($z =$ diâmetro do pote).
- 3) Com o pote vazio, incida a luz laser sobre o CD e meça a distância x no ar.
- 4) Em seguida, encha o pote com água, incida o laser no CD e meça distância x na água.

V - Análise

1. Calcule o índice de refração da água (equação 2.4).
2. Colete o valor de $n_{\text{água}}$ dos demais grupos e calcule a média.
3. Sabendo que o índice de refração da água fornecido na literatura $n_{\text{água}} = 1,33$, compare o valor obtido com o valor adotado, calculando o erro da medição.

Referências

SILVA, F. M; MURAMATSU, M.. Medindo refração de líquidos usando difração da luz. **Física na escola**, v.8, n.1, p. 46-47, 2007

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALKER, J.; Fundamentos de Física, v. IV, LTC, 8 ed, 2008.

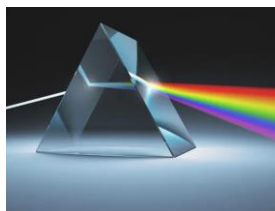
Experiência 3

Observando os espectros atômicos de emissão de fontes de luz.

I. Introdução:

Provavelmente você já ouviu a história sobre Isaac Newton, em que, numa sala totalmente escura, ele deixou passar um pequeno filete de luz e depois deixou essa luz atravessar um prisma. Quando isso aconteceu, a luz branca que atravessou o prisma foi dividida em todas as cores que formam o arco-íris (Figura. 3.1). Este fenômeno é conhecido como dispersão da luz branca e as cores correspondem ao espectro contínuo da luz.

Figura 3.1 – Dispersão da luz branca



Fonte: Brasil escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/cor-luz.htm>>.

A formação do espectro da luz não ocorre somente com a luz branca, mas também com outros tipos de luz emitidas. Tomemos como exemplo um tubo contendo gás hidrogênio. Se fizermos passar nele uma descarga elétrica, os elétrons irão sofrer uma transição, indo para níveis de energia mais altos. Quando os elétrons retornam para os estados fundamentais de energia, ocorre emissão de fótons, ou seja, emissão de luz. Se permitirmos a luz emitida pelo gás hidrogênio atravessar um prisma ou ao passar por uma rede de difração, não veremos mais o espectro contínuo da emissão da luz, mas um espectro de linha com apenas quatro linhas (Figura. 3.2). Cada linha representa a emissão de um fóton oriundo da transição de um elétron. Este espectro de emissão é uma característica somente para o átomo de Hidrogênio, ou seja, podemos identificar os elementos químicos a partir do seu espectro de emissão.

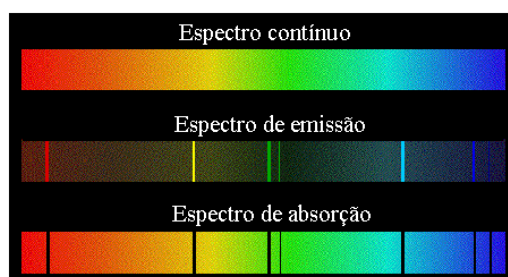
Figura 3.2 – Espectro de emissão do átomo de hidrogênio



Fonte: Brasil escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/espectros-emissao-absorcao-leis-kirchhoff.htm>>

Um espectro de absorção ocorre quando a luz emitida por uma fonte, uma lâmpada incandescente, por exemplo, passa através de um gás frio e rarefeito. A radiação é então absorvida em determinados comprimentos de onda e as linhas observadas representam os comprimentos de onda que faltam no espectro contínuo. Interessante observar que para cada linha no espectro de absorção há uma linha correspondente no seu espectro de emissão (Figura. 3.3).

Figura 3.3 - Espectro de emissão e absorção.



Fonte: Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 2, 2504 (2012)

Por volta de 1913, Niels Bohr desenvolveu um modelo atômico que apresentava uma excelente concordância com os dados espectroscópicos que dispunha na época. Bohr observou que a teoria clássica não explicava porque átomos de uma mesma espécie deveriam ter órbitas eletrônicas similares, como evidenciava os espectros atômicos. O átomo só emitiria ou absorveria radiação eletromagnética se um elétron fizesse uma transição de um estado de energia inicial E_i para um estado de energia final E_f . A frequência f da radiação emitida poderia ser calculada da forma:

$$f = \frac{E_i - E_f}{h} \quad (3.1)$$

onde h é a constante de Planck.

Esta energia, absorvida ou emitida, corresponde a energia transportada por um fóton, conforme o postulado de Einstein.

Neste experimento vamos construir um espectrômetro manual e observar os espectros produzidos por diferentes fontes.

II. Objetivo:

Construir um espectrômetro para observar os espectros produzidos por diferentes fontes.

III. Materiais utilizados:

- Um tubo de papelão de aproximadamente 30 cm de comprimento. Você pode usar o tubo de papel toalha;
- Um CD;
- Fita adesiva;
- Papel cartão ou cartolina preta;
- Lâmpada incandescente;
- Lâmpada Fluorescente;
- Estilete.

IV. Procedimento

- 1) Retire a película laminada do CD e corte-o em quatro partes iguais;
- 2) Pegue uma dessas partes e cole sobre um lado do tubo de papelão. O CD será a sua rede de difração;
- 3) Recorte um círculo de cartolina, faça uma fenda de aproximadamente 2 cm de comprimento e 0,5 mm de largura. Cole esse círculo no lado oposto do tubo como se fosse uma tampa. A figura 3.4 mostra a montagem.
- 4) Aponte o espectrômetro para a lâmpada incandescente cuidando para que a radiação incida diretamente sobre a fenda;
- 5) Observe o espectro formado dentro do tubo e faça um desenho detalhado da figura formada em um pedaço de papel;
- 6) Substitua a fonte pela lâmpada fluorescente e repita o procedimento.

Figura 3.4 – Montagem do espectrômetro



Fonte: Próprio autor.

V. Análise

1. Identifique as principais características e diferenças entre os espectros produzidos pelas duas lâmpadas.
2. Houve diferença no espectro observado quando substituiu a lâmpada incandescente pela lâmpada fluorescente? Comente.

3. Referências:

HALLIDAY, D., RESNICK, R, WALKER, J.; Fundamentos de Física, v. IV, LTC, 8 ed, 2008.

CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R. C., HAAG, R. Experiências em Física Moderna. **Física na Escola**, v. 6, n.1, p. 75-82, 2005.

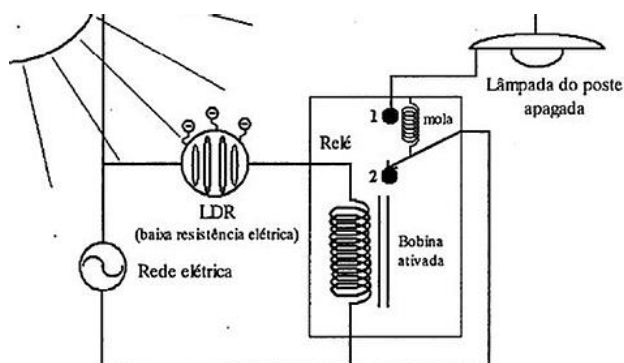
Experiência 4

Sensor de luminosidade LDR

I – Introdução:

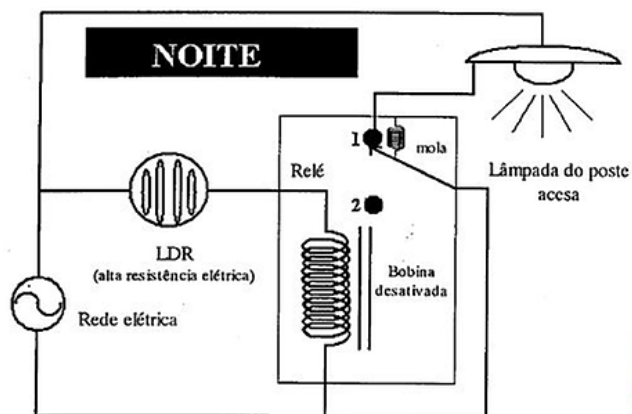
O LDR (Resistor Dependente de Luz) é um tipo de resistor que varia de resistência a partir da luminosidade captada. Uma das principais aplicações do LDR é a fotocélula (dispositivo utilizado para acendimento automático de lâmpadas), encontrada, por exemplo, nos postes de iluminação pública (Figura 4.1 e 4.2).

Figura 4.1 – LDR em circuito durante o dia.



Fonte: Disponível em: <<https://marievagui.wixsite.com/fisicaquantica/circuitos-eltricos>>

Figura 4.2 – LDR em circuito durante a noite.



Fonte: Disponível em: <<https://marievagui.wixsite.com/fisicaquantica/circuitos-eltricos>>

O LDR é constituído de um material semicondutor com elevada resistência elétrica. Quando a luz que incide sobre o LDR possui uma frequência suficiente, os fótons que incidem sobre o semicondutor fornecem energia para os elétrons e estes deslocam-se para a banda condutora, aumentando a condutividade e assim diminuindo a resistência desse componente eletrônico. Os tipos mais comuns de LDR possuem maior sensibilidade à luz visível, porém, existem variações que permitem maior sensibilidade à luz infravermelha.

II. Objetivo

Compreender os princípios físicos do funcionamento do LDR.

III. Procedimentos:

- Impeça a chegada de luz no LDR do circuito, tampando com a mão ou apague a luz do ambiente.
- Faça um desenho esquemático do circuito LDR, primeiro com o LED apagado e depois com o LED aceso.

IV. Análise:

1. Explique o que ocorre com o LDR ao receber luz. Qual é o nome deste fenômeno físico?
2. Explique como funciona um semicondutor e sua função no LDR.

Referências:

VALADARES, Eduardo de Campos; MOREIRA, Alysson Magalhães. **Ensinando física moderna no segundo grau: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro.** Cad.Cat.Ens.Fís., v. 15, n. 2: p. 121-135, ago. 1998.

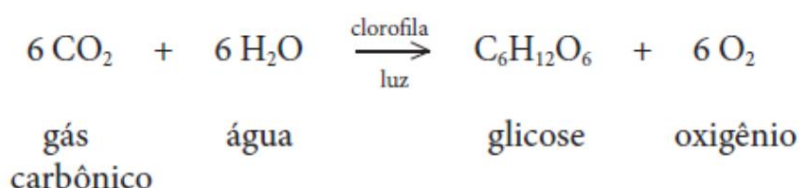
Acendimento de um LED. Disponível em <https://marievagui.wixsite.com/fisicaquantica/circuitos-eltricos>. Acesso em: 14/04/2021.

Experiência 5

Observando a Fotossíntese

I. Introdução:

O termo fotossíntese significa, literalmente, “síntese usando a luz”. Os organismos fotossintéticos captam e utilizam a energia solar para oxidar água (H₂O), liberando oxigênio (O₂), e para reduzir gás carbônico (CO₂), produzindo compostos orgânicos, primariamente açúcares (como a glicose). A fotossíntese ocorre em duas etapas denominadas: fase fotoquímica e fase bioquímica. A equação geral da fotossíntese é dada por:



A fotossíntese é realizada por organismos denominados fotossintetizantes, como plantas e algas. O cloroplasto é o local onde ocorre a fotossíntese dos eucariotos fotossintéticos. Nos cloroplastos, a luz é absorvida por pigmentos, principalmente as moléculas de clorofila *a* e *b*. A absorção da luz ocorre quando a clorofila no seu estado de menor energia (estado fundamental) absorve um fóton de luz e passa para um estado de maior energia (estado excitado). A energia da luz absorvida é utilizada para impulsionar a transferência de elétrons (reação fotoquímica) através de uma série de compostos que agem como doadores e aceptores de elétrons.

II – Objetivo:

Verificar a reação de fotossíntese em folhas verdes.

III – Materiais:

- 4 potes transparentes com tampa (como os de maionese);
- Água;
- Bicarbonato de sódio (NaHCO₃);
- Papel alumínio;
- Folhas de plantas verdes, preferencialmente de plantas de ambientes exteriores.

IV – Procedimentos:

1) Numere as tampas dos potes (1, 2, 3,e,4).

- 2) Cubra potes 2 e 4 com papel-alumínio.
- 3) Coloque duas folhas verdes em cada pote e cubra-as com água.
- 4) Nos potes 1 e 2, acrescente 1 colher de chá de bicarbonato de sódio.
- 5) Tampe os potes e coloque-os num local onde haja incidência da luz do Sol por 20 a 30 min.

V – Análise:

1. Descreva o que você observou nas folhas. Ocorreu fotossíntese nos quatro potes?
2. No processo de fotossíntese, devemos considerar o comportamento da luz como ondulatório ou corpuscular? Explique.
3. Qual fenômeno físico está relacionado ao processo da fotossíntese?

Referências:

- LACERDA, C. F.; FILHO, J.E.; PINHEIRO, C. B. **Fisiologia vegetal**. Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular. Universidade Federal do Ceará, 2007. Disponível em: <http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/APOSTILA/FOTOSSINTESE.pdf>. Acesso em 17/02/20221.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452 p

Experiência 6

Índice ultravioleta e proteção solar

I – Introdução:

O Índice Ultravioleta (IUV) é uma medida da intensidade da radiação ultravioleta (RUV) incidente sobre a superfície da Terra. O IUV representa o valor máximo diário da radiação ultravioleta, isto é, no período referente ao meio-dia solar, o horário de máxima intensidade de radiação solar. O IUV é apresentado como um número inteiro. De acordo com recomendações da Organização Mundial da Saúde, esses valores são agrupados em categorias de intensidades, conforme mostra o quadro abaixo (INPE, 2021):

Quadro 1. Índice UV

CATEGORIA	IUV
BAIXO	< 2
MODERADO	3 a 5
ALTO	6 a 7
MUITO ALTO	8 a 10
EXTREMO	> 11

Fonte: INPE (2021)

O IUV é calculado em função dos seguintes parâmetros: *concentração de ozônio*, *posição geográfica da localidade* (quanto mais próximo da linha do Equador, maior o fluxo de radiação ultravioleta), *altitude da superfície* (quanto maior a altitude, menor é a quantidade de ozônio e maior é a quantidade de RUV incidente), *hora do dia* (cerca de 20 a 30% da RUV chega à superfície entre 11 e 13 h), *estação do ano* (a irradiância solar aumenta 25% no verão e diminui cerca de 30% no inverno), *condições atmosféricas* (a presença de nuvens ou aerossóis atenua a RUV incidente) e *tipo de superfície* (algumas superfícies, como a areia da praia têm grande capacidade de refletir a RUV, deixando-a mais tempo disponível no ambiente) (INPE, 2021).

A irradiância é a quantidade de energia do Sol que atinge uma superfície por unidade de tempo. É normalmente medida em W/m^2 ou mW/cm^2 . O valor do IUV está relacionado com a irradiância solar.

O fator de proteção solar (FPS) é um parâmetro utilizado nos filtros solares relacionado ao tipo de pele e ao tempo de exposição solar, contra a queimadura solar se comparado à exposição desprotegida. Por exemplo, se uma pessoa usa um protetor com fator de proteção 30, significa que sua pele leva 30 vezes mais tempo para se queimar com o protetor solar do que sem ele.

II. Objetivos:

- 1) Analisar a função do protetor solar.
- 2) Verificar a importância do IUV e do FPS.

III. Materiais:

- Circuito com Sensor UVA/ UVB;
- Placa de vidro;
- Creme hidratante;
- Filtros solares de FPS 30 e 50;
- Lâmpada UVA/ UVB (lâmpada negra);
- Medidor portátil de IUV.

IV. Procedimentos:

1. Exponha o circuito Sensor UV à radiação UV. Anote as informações mostradas.
2. Coloque sobre o sensor a placa de vidro limpa e depois exponha o circuito à radiação UV. Anote as informações mostradas.
3. Cubra de forma homogênea a placa de vidro com creme hidratante e depois exponha o circuito à radiação UV. Anote as informações mostradas.
4. Cubra de forma homogênea a placa de vidro com o filtro FPS 30 e depois exponha o circuito à radiação UV. Anote as informações mostradas.
5. Cubra de forma homogênea a placa de vidro com o filtro FPS 50 e depois exponha o circuito à radiação UV. Anote as informações mostradas.
6. Com o medidor portátil de IUV, faça medida do IUV em um local com incidência de radiação solar. Compare com o IUV informado com o quadro 1 deste roteiro.

V. Análise:

1. O creme hidratante e os filtros solares usados interferiram na irradiância medida? Explique.
2. Explique a importância do FPS na proteção da pele à radiação UV.

3, Explique a relação entre IUV, FPS e combate às queimaduras e câncer de pele.

Referências:

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). O que é radiação ultravioleta. Disponível em < <http://satelite.cptec.inpe.br/uv/>>. Acesso em 15/04/2021.

COSTA, M. L.; SILVA, R.R. Ataque à pele. **Química Nova na Escola**, n. 2, p. 3-7, 1995.

APÊNDICE D

1. Código para observar o funcionamento do LDR

```

/*
 * Módulo Fotoresistor (Sensor) LDR
 * Fonte: https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-modulo-fotoresistor-sensor-ldr/
 */

//***** DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS *****/

const int pinoSensor = 8; //PINO DIGITAL UTILIZADO PELA SAÍDA DO SENSOR
const int pinoLed = 7;    //PINO DIGITAL UTILIZADO PELO LED

//*****

// ***** INÍCIO DO PROGRAMA *****

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //INICIALIZA A SERIAL
  pinMode (pinoSensor, INPUT); //DEFINE O PINO COMO ENTRADA
  pinMode(pinoLed, OUTPUT); //DEFINE O PINO COMO SAÍDA
  digitalWrite(pinoLed, LOW); //LED INICIA DESLIGADO
}

void loop()
{
  int leitura = digitalRead(pinoSensor);

  if (leitura == HIGH)
  { //SE LEITURA DO PINO FOR IGUAL A 1 (HIGH), FAZ
    digitalWrite(pinoLed, HIGH); //ACENDE O LED

    // Serial.println(leitura); // OBSERVAR VALOR DE TENSÃO DO LDR NO
    MONITOR SERIAL
  }
}

```



```

}
else
{ //SENÃO, FAZ
  digitalWrite(pinoLed, LOW); //ACENDE O LED
}
}
}

```

2. Código para detecção de radiação UVA/UVB

```

/* ML8511 UV Sensor
 * https://learn.sparkfun.com/tutorials/ml8511-uv-sensor-hookup-guide/all
 * */

// ***** Hardware pin definitions *****
*****

int UVOUT = A0; //Output from the sensor

int REF_3V3 = A1; //3.3V power on the Arduino board

//***** DECLARACAO DE BIBLIOTECA *****
*****

#include <Wire.h> //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA

#include <LiquidCrystal_I2C.h> //INCLUSÃO DE BIBLIOTECA

//
*****
*****

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE); //ENDEREÇO DO I2C E
DEMAIS INFORMAÇÕES

// ***** FUNÇÕES AUXILIARES *****
*****

void mostraCategoria();

```

```

//
*****
*****

// ***** INICIO DO PROGRAMA
*****

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  lcd.begin (16,2); //SETA A QUANTIDADE DE COLUNAS(16) E O NÚMERO DE
  LINHAS(2) DO DISPLAY

  lcd.setBacklight(HIGH); //LIGA O BACKLIGHT (LUZ DE FUNDO)

  pinMode(UVOUT, INPUT);
  pinMode(REF_3V3, INPUT);
}

void loop()
{
  int uvLevel = averageAnalogRead(UVOUT);
  int refLevel = averageAnalogRead(REF_3V3);

  //Use the 3.3V power pin as a reference to get a very accurate output value from
  sensor

  float outputVoltage = 3.3 / refLevel * uvLevel;

  float uvIntensity = mapfloat(outputVoltage, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0); //Convert the
  voltage to a UV intensity level

```

```

Serial.print("output: ");
Serial.print(refLevel);

Serial.print(" / ML8511 output: ");
Serial.print(uvLevel);

Serial.print(" / ML8511 voltage: ");
Serial.print(outputVoltage);

Serial.print(" / UV Intensity (mW/cm^2): ");
Serial.print(uvIntensity);
Serial.println();
mostreCategoria();

// ***** Print em LCD
*****

  lcd.setCursor(0,0); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR NA PRIMEIRA COLUNA E
PRIMEIRA LINHA

  lcd.print("UV Index is: ");

  lcd.setCursor(0,1);

  lcd.print(outputVoltage);

  lcd.setCursor(3,1); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR NA PRIMEIRA COLUNA E
SEGUNDA LINHA

  lcd.print("V");

  lcd.setCursor(5,1); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR NA PRIMEIRA COLUNA E
SEGUNDA LINHA

  lcd.print(uvIntensity);

  lcd.print("mW/cm^2");

```

```
    delay(5000);
}

//Takes an average of readings on a given pin
//Returns the average
int averageAnalogRead(int pinToRead)
{
    byte numberOfReadings = 8;
    unsigned int runningValue = 0;

    for(int x = 0 ; x < numberOfReadings ; x++)
        runningValue += analogRead(pinToRead);
    runningValue /= numberOfReadings;

    return(runningValue);
}

//The Arduino Map function but for floats
//From: http://forum.arduino.cc/index.php?topic=3922.0
float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}

void mostreCategoria()
{
    float uvIntensity;
```

```
if (uvIntensity >= 0 && uvIntensity < 3.0)
{
    Serial.print("Minimo");
}
else if (uvIntensity >= 3.0 && uvIntensity < 5.0)
{
    Serial.print("Baixo");
}
else if (uvIntensity >= 5.0 && uvIntensity < 8.0)
{
    Serial.print("Moderado");
}
else if (uvIntensity >= 8.0 && uvIntensity < 11.0)
{
    Serial.print("Alto");
}
else if (uvIntensity >= 11.0)
{
    Serial.print("Muito Alto");
}
} // Fim da função mostraCategoria
```


APÊNDICE E

TERMO/REGISTRO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(PARA MENORES DE 7 a 18 ANOS)

OBS: Este Termo de Assentimento para o menor de 7 a 18 anos não elimina a necessidade da elaboração de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido que deve ser assinado pelo responsável ou representante legal do menor.

Identificação dos autores

Mestrando: Wesley Menelli

e-mail: wesleymenelli @gmail.com

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto Cardoso Passos

e-mail orientador: carlos.passos@ufes.br

Título da Pesquisa: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A DUALIDADE ONDA PARTÍCULA DA LUZ, UTILIZANDO A LUZ VISÍVEL E A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Convidamos você _____, após autorização dos seus pais [ou dos responsáveis legais] para participar como voluntário (a) da pesquisa: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A DUALIDADE ONDA PARTÍCULA DA LUZ, UTILIZANDO A LUZ VISÍVEL E A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA. Esta pesquisa é da responsabilidade do pesquisador WESLEY MENELLI acima identificado.

Você será esclarecido (a) sobre qualquer dúvida com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via deste termo lhe será entregue para que seus pais ou responsável possam guardá-la e a outra ficará com o pesquisador responsável. Você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu. Para participar deste estudo, um responsável por você deverá autorizar e assinar um

Termo de Consentimento, podendo retirar esse consentimento ou interromper a sua participação em qualquer fase da pesquisa, sem nenhum prejuízo.

As informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (gravações, entrevistas, fotos, filmagens, etc), ficarão armazenados em (pastas de arquivo, computador pessoal), sob a responsabilidade do (pesquisador e Orientador), no endereço (acima informado ou colocar o endereço do local), pelo período de mínimo 5 anos, após o término da pesquisa. Nem você e nem seus pais [ou responsáveis legais] pagarão nada para você participar desta pesquisa, também não receberão nenhum pagamento para a sua participação, pois é voluntária. Se houver necessidade, as despesas (deslocamento e alimentação) para a sua participação e de seus pais serão assumidas ou ressarcidas pelos pesquisadores. Fica também garantida indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da sua participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial.

Wesley Menelli

ASSENTIMENTO DO(DA) MENOR DE IDADE EM PARTICIPAR COMO VOLUNTÁRIO(A)

Eu, _____, portador (a) do documento de Identidade _____(se já tiver documento), abaixo assinado, concordo em participar do estudo UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE A DUALIDADE ONDA PARTÍCULA DA LUZ, UTILIZANDO A LUZ VISÍVEL E A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA, como voluntário (a). Fui informado (a) e esclarecido (a) pelo (a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, o que vai ser feito, assim como os possíveis riscos e benefícios que podem acontecer com a minha participação. Foi-me garantido que posso desistir de participar a qualquer momento, sem que eu ou meus pais precisem pagar nada.

Local _____ e _____ data: _____

Assinatura _____ do(da) _____ menor: _____

Assinatura _____ do _____ responsável _____ do(da) menor: _____

APÊNDICE F

Apresentação sobre radiação solar



O que é a radiação solar?

- A radiação solar é a energia emitida pelo Sol, que se propaga em todas as direções através do espaço por meio de ondas eletromagnéticas.

The diagram shows a yellow sun on the left and a blue and green Earth on the right. Yellow wavy arrows labeled 'RADIÇÃO' point from the sun towards the Earth. The Earth is labeled 'TERRA' at the top. A red line is drawn across the Earth's surface, representing the equator. The diagram is set against a light blue background with white clouds.

2

Tipos das radiações solares

A radiação solar possui três tipos principais de raios:

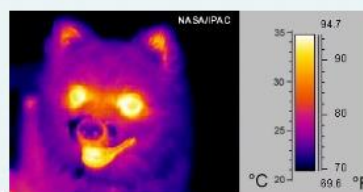
- Infravermelho – 49%;
- Luz visível– 43%;
- Ultravioleta – 7%;
- Outros tipos – 1%.



3

Radiação Infravermelha (RIV)

- Possui comprimentos de onda na faixa de 730 e 1.000.000 nm;
- É invisível aos olhos humanos;
- O infravermelho pode ser percebida como calor;
- É muito utilizada nas trocas de informações entre computadores, celulares e outros eletrônicos.



4

Luz visível

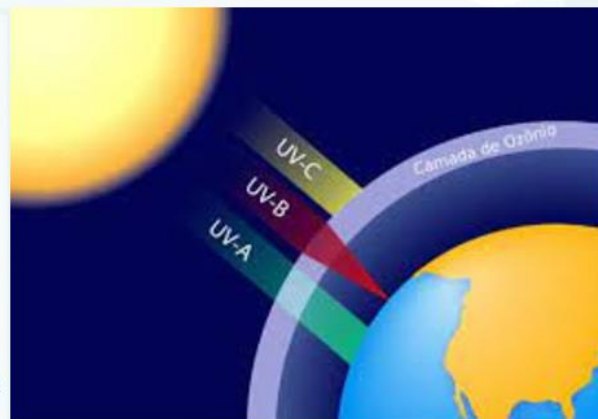
- Possui comprimentos de onda que estão na faixa entre 400 e 730 nm;
- A luz de 400 nm é violeta, enquanto a luz de 730 nm é vermelha;



5

Radiação ultravioleta (RUV)

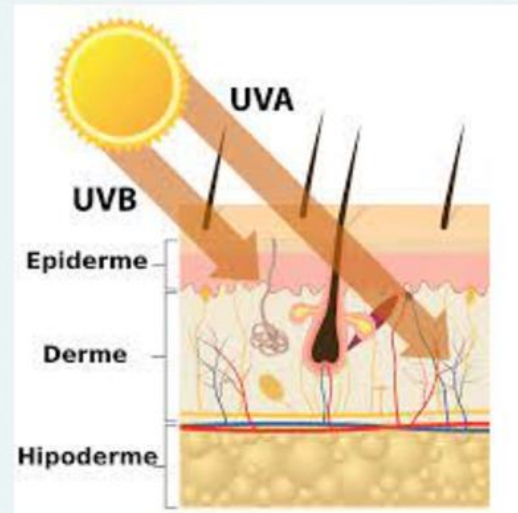
- É a parte do espectro eletromagnético referente aos comprimentos de onda entre 100 e 400 nm;
- É invisível aos olhos humanos;
- Estimula a produção de vitamina D;
- É subdividida em UVA, UVB e UVC.



6

Radiação UVA

- É a radiação ultravioleta menos energética, indo de 400 nm a 315 nm;
- Os raios UVA são responsáveis pelo envelhecimento precoce da pele e também podem causar câncer;
- O raio UVA atinge a derme, camada mais profunda da pele, dando a aparência de um bronzeado;
- É presente mesmo em dias nublados.



7

Radiação UVB

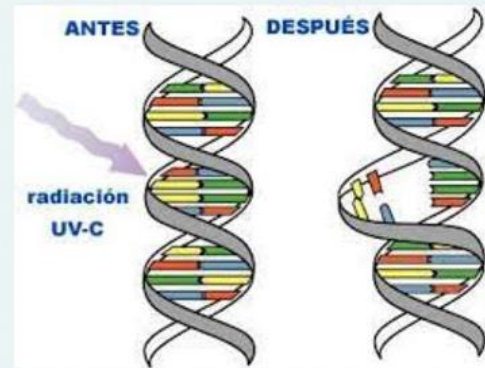
- São parcialmente absorvidos pela camada de ozônio;
- Penetram mais superficialmente na pele e causam as vermelhidões e queimaduras solares típicas das estações quentes do ano;
- Também pode causar câncer de pele.



8

Radiação UVC

- Os raios UVC são os mais perigosos para o ser humano;
- Tem comprimento de onda entre 100 e 280 nm;
- Possui ação germicida;
- São absorvidas pela camada de ozônio, não atingindo a superfície terrestre.



APÊNDICE G

ROTEIRO PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO EFEITO FOTOELÉTRICO

O efeito fotoelétrico é um fenômeno de origem quântica que consiste na emissão de elétrons por algum material quando ele é iluminado por certas radiações eletromagnéticas. Os elétrons emitidos por esses materiais são chamados de fotoelétrons. O efeito fotoelétrico foi explicado por Albert Einstein considerando a luz como partículas (fótons). Para realizar esta atividade, iremos utilizar a simulação disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric>.

Procedimentos:

1. Selecione metal sódio, luz vermelha e intensidade 20 %. Ocorre o efeito fotoelétrico?

2. Aumente a intensidade da luz para 100%. Ocorre o efeito fotoelétrico?

3. Se não ocorreu a emissão de elétrons, volte a intensidade para 20% e troque a radiação até a placa emitir elétrons. Que radiação é essa? Qual é o comprimento de onda dessa radiação?

4. Aumente a intensidade para 100 %. O que acontece com a quantidade de elétrons emitidos? (Aumenta, diminui ou não varia?)

5. Substitua a radiação para ultravioleta de comprimento de onda 350 nm. O que acontece com a velocidade dos fotoelétrons?

6. Troque o metal para zinco e intensidade 20%. Para qual radiação ocorre o efeito fotoelétrico? Em qual comprimento de onda começa a ocorrer a emissão de elétrons?

7. Aumente a intensidade para 100%. O que acontece com a quantidade de elétrons emitidos?

8. Mantendo a intensidade em 100 %, diminua o comprimento de onda dessa radiação até o menor valor. O que acontece com a velocidade dos fotoelétrons à medida que a frequência aumenta (isto é, à medida que o comprimento de onda diminui)?

9. Observe o valor da corrente elétrica. O que acontece com o valor da corrente elétrica à medida que a intensidade da radiação diminui?

Análise:

De acordo com que você observou durante a simulação do efeito fotoelétricos, responda as questões abaixo:

1. (a) Para um dado metal, o efeito fotoelétrico ocorre com incidência de radiação eletromagnética de qualquer frequência? Explique.

(b) Para um dado metal, existe uma frequência mínima (frequência de corte) para ocorrer o efeito fotoelétrico?

2. Quando se substitui o metal sódio por zinco foi preciso diminuir o comprimento de onda (isto é, aumentar a frequência) da radiação.

(a) De acordo com o que foi observado, a energia dos fótons para arrancar elétrons do zinco é maior, menor ou igual à energia dos fótons para arrancar elétrons do sódio?

(b) De acordo com o que foi observado, você diria que a energia de um fóton deve ser direta ou inversamente proporcional à frequência da radiação? Ou não depende da frequência?

3. Se num certo metal está ocorrendo efeito fotoelétrico com incidência de uma certa radiação, aumentando-se a intensidade da radiação, aumenta a quantidade dos elétrons emitidos ou aumenta a velocidade dos elétrons emitidos?

4. Conforme visto, o efeito fotoelétrico depende do metal da placa receptora da radiação. A energia para arrancar o elétron da estrutura cristalina do metal é denominada função trabalho. Trocando-se um metal por outro de maior função trabalho, para ocorrer o efeito fotoelétrico, a frequência de corte deve ser aumentada, diminuída ou a mantida?

5. A energia do fóton de uma determinada radiação é dada pela equação: $E_{\text{fóton}} = h \cdot f$ (onde h = constante de Planck e f é a frequência da radiação). O fóton ao colidir com um elétron transfere para este sua energia. Se a energia do fóton for maior do que a função trabalho ϕ , este elétron será ejetado do metal com alguma energia cinética. A unidade de normalmente utilizada na Física Quântica é o elétron-volt (eV), onde 1 eV vale $1,6 \cdot 10^{-19}$ J.

a) Suponha que um fóton incida sobre uma placa metálica com energia $E_{\text{fóton}} = 100$ eV e que o elétron após receber os 100 eV deva “pagar” ao átomo uma taxa de 15% dessa energia para liberado. Com que energia cinética o elétron será emitido?

b) Escreva a equação para encontrar a energia cinética (E_c) do elétron emitido em função da energia do fóton e da função trabalho.

APÊNDICE H

QUESTIONÁRIO SOBRE DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

1. Comportamento ondulatório da Luz: A luz solar é parte do espectro eletromagnético. A composição da luz solar está compreendida no intervalo de comprimento de onda: *radiação ultravioleta (UV)* (100-400nm), *luz visível (LV)* (400-780nm) e *infravermelho (IV)* (> 780 nm). Além disso, a radiação UV é subdividida em: **UVC** (100-290 nm), **UVB** (290-320 nm) e **UVA** (320-400 nm). A radiação UVA, por sua vez, é classificada ainda em: UVA1 (340-400 nm) e UVA2 (320-340 nm). O corpo humano é um grande sensor que identifica a radiação solar das seguintes maneiras:

- Radiação Infravermelho – sob a forma de calor;
- Radiação Visível – identificação das cores visível pelo sistema óptico;
- Radiação Ultravioleta – através das reações fotoquímicas.

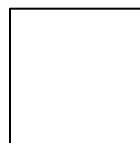
No caso específico da radiação UVB, observamos um aumento desta radiação devido à problemas ambientais que provocam à redução da camada de ozônio. E a maior incidência da radiação UVB está associada ao aparecimento de câncer de pele em jovens adultos. Uma forma de prevenção é utilizar os protetores solares. Os cremes protetores solares possuem filtros que são capazes de bloquear a radiação solar nociva. O processo físico dos protetores solares é _____ ou _____ de determinados comprimentos de onda da radiação solar, principalmente as radiações UVA e UVB.

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas.

- a) reflexão; absorção.
- b) absorção; refração.
- c) efeito fotoelétrico; absorção.
- d) efeito fotoelétrico; reflexão.

2. Comportamento ondulatório da Luz: Na

figura abaixo a luz passa pela fenda S_0 , depois pela pelas fendas S_1 e S_2 e, a seguir, é projetada num anteparo formando linhas claras e linhas escuras.



Os fenômenos ondulatórios em relação à luz, mostrados na figura são:

- a) reflexão e difração.
- b) refração e interferência.
- c) reflexão e interferência.
- d) difração e interferência.

3. Quantização da energia (UFMG – 2006)

A luz emitida por uma lâmpada fluorescente é produzida por átomos de mercúrio excitados, que, ao perderem energia, emitem luz. Alguns dos comprimentos de onda de luz visível emitida pelo mercúrio, nesse processo, estão mostrados nesta tabela:

Cor	Comprimento de onda (nm)
amarela	579,2
verde	546,2
azul	491,7
violeta	436,0

Considere que, nesse caso, a luz emitida se propaga no ar. Considerando-se essas informações, é CORRETO afirmar que, em comparação com os fótons de luz violeta, os fótons de luz amarela têm

- a) menor energia e menor velocidade.
- b) maior energia e maior velocidade.
- c) menor energia e mesma velocidade.
- d) maior energia e mesma velocidade.

4. Comportamento corpuscular da Luz:

(UFMS -2015) O fenômeno físico responsável pelo funcionamento dos sensores CCD, presentes nas primeiras e em muitas das atuais câmeras digitais, é similar ao efeito fotoelétrico. Ao incidirem sobre um cristal de silício, os fótons transferem a sua energia aos elétrons que se encontram na banda de valência, que são "promovidos" para os níveis de energia que se encontram na banda de condução. O excesso de carga transferido para a banda de condução é então drenado por um potencial elétrico aplicado sobre o dispositivo, produzindo um sinal proporcional à intensidade da luz incidente. A energia transferida aos elétrons pelos fótons, nesse processo, é proporcional à _____ da radiação incidente.

Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna.

- a) intensidade
- b) frequência
- c) polarização
- d) amplitude

5. Comportamento dual da Luz: (UFMS - 2006) A primeira pessoa a apresentar uma teoria ondulatória convincente para a luz foi o físico holandês Christian Huygens, em 1678. As grandes vantagens dessa teoria são explicar alguns fenômenos da luz e atribuir um significado físico ao índice de refração. No entanto, alguns fenômenos só podem ser entendidos com uma hipótese diferente sobre a luz - a hipótese de ela se comportar como um feixe de partículas, a qual foi proposta por Einstein em 1905. Essas duas formas de interpretar a luz são denominadas dualidade da luz. Qual fenômeno a seguir só é explicado pela hipótese de Einstein?

- a) Efeito fotoelétrico.
- b) Reflexão da luz.
- c) Difração da luz.
- d) Interferência da luz.

6. Comportamento corpuscular da Luz (UFRS - 2001- adaptada)

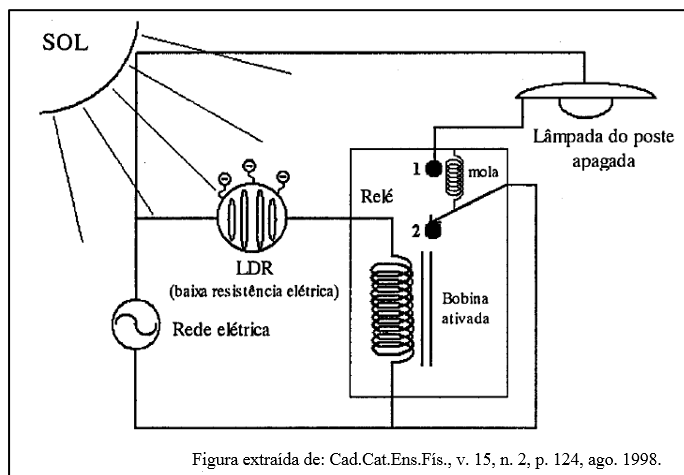
Considere as seguintes afirmações sobre o efeito fotoelétrico.

- I. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.
- II. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo ondulatório para a luz.
- III. Uma superfície metálica fotossensível somente emite fotoelétrons quando a frequência da luz incidente nessa superfície excede um certo valor mínimo, que depende do metal.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas I e III.
- d) I, II e III.

7. Comportamento corpuscular da Luz: O LDR (Resistor Dependente da Luz) é um tipo especial de resistor que apresenta alta resistência elétrica em um ambiente escuro, mas quando expostos à luz, oferece baixa resistência, tornando-se condutor de eletricidade. Este dispositivo eletrônico é utilizado para detectar o amanhecer e o anoitecer, nas fotocélulas da iluminação pública. Quando a luz incide sobre o LDR uma corrente elétrica gera campo magnético no relé que atrai a chave para a posição 2, interrompendo o circuito, o que impede a lâmpada de se acender.



Explique o fenômeno físico que determina o funcionamento do LDR.

8. Comportamento corpuscular da Luz. Leia o texto abaixo:

O Sol é a fonte principal de energia na Terra, sem o qual não seria possível a existência de vida. [...] O Sol emite radiação eletromagnética, e a luz que chega até nós é composta de 15% de raios ultravioleta (A, B e C), 60% de luz visível (o que produz as cores do arco-íris, por exemplo), e 25% de raios infravermelho, que produzem a sensação de calor quando estamos sob incidência direta dos raios solares. [...] Nas células vegetais, dentro dos cloroplastos, se encontram moléculas de clorofila. A clorofila absorve fótons da luz solar e liberam elétrons, iniciando a cascata de transferência de energia que ocorre durante o processo da fotossíntese.

Disponível em <<http://ead.hemocentro.fmrp.usp.br/joomla/index.php/noticias/adotepauta/637-luz-e-metabolismo-entenda-essa-interacao>>. Acesso em 28/11/2021.

Explique o fenômeno físico que determina o processo da fotossíntese.

9. Radiação solar: Com base no que foi apresentado nos experimentos e na discussão em aula, escreva um pequeno parágrafo relacionando os termos radiação ultravioleta, proteção solar, fator de proteção solar (FPS) e índice ultravioleta (IUV).

10. Nas últimas aulas discutimos sobre a luz. Vimos que em alguns fenômenos a luz se comporta como onda e em outros, como partícula. Afinal, qual é a natureza da luz? Discorra brevemente sobre esse comportamento dual da luz.
