

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
CAMPUS MEDIANEIRA**

ROSEMERI INES KUNRATH

**ESTRATÉGIAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM NA COMPREENSÃO DA
DUALIDADE DA LUZ**

**MEDIANEIRA
2018**



ESTRATÉGIAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM NA COMPREENSÃO DA DUALIDADE DA LUZ

Rosemeri Ines Kunrath

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

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Camila Tonezer

MEDIANEIRA
Maio 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

K96e

Kunrath, Rosemeri Ines

Estratégias de ensino-aprendizagem na compreensão da dualidade da luz / Rosemeri Ines Kunrath. – 2018.

77 f. : il. ; 30 cm.

Texto em português com resumo em inglês

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Medianeira, 2018.

Inclui bibliografias.

1. Física. 2. Interferência (Luz).3. Luz – Espalhamento. 4. Ensino de Física - Dissertações. I. Tonezer, Camila, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

CDD: 530.07

Biblioteca Câmpus Medianeira
Marci Lucia Nicodem Fischborn 9/1219

TERMO DE APROVAÇÃO

Estratégias de Ensino-Aprendizagem na Compreensão da Dualidade da Luz

Rosemeri Ines Kunrath

Orientadora:
Prof.^a Dr.^a Camila Tonezer

Essa dissertação foi apresentada às 10 horas, do 18 de maio de 2018, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física, Linha de Pesquisa “Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física”, no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.¹

Aprovada por:

Prof.^a Dr.^a Camila Tonezer
ORIENTADORA-UFPR

Prof. Dr. Valdir Rosa
UFPR

Prof.^a Dr.^a Rita de Cassia Dos Anjos
UFPR

MEDIANEIRA
Maio 2018

¹ A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha querida filha Maria Eduarda, pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não atenderão a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas de que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço a Deus por tudo que já superei e alcancei na vida.

À minha mãe, tua força e teu amor me dirigiram pela vida e me deram as asas de que precisava para voar. Sempre à disposição para cuidar de minha pequena Maria Eduarda.

À minha filha Maria Eduarda, mesmo tão pequenina, me dando força e animo para a conclusão dessa nova etapa da minha vida.

Agradeço à minha orientadora Prof.^a Dr.^a Camila Tonezer, pela sabedoria e paciência com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus professores e colegas de mestrado que, através dos inúmeros debates e embates realizados, colaboraram na construção do meu conhecimento.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que, por algum motivo ou de alguma forma, contribuíram para a realização desta pesquisa.

*“Lembre-se de olhar para as estrelas, e
não para os seus pés.”*
(HAWKING, Stephen, 1942-2018)

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo elaborar, aplicar e analisar uma Sequência Didática para o estudo da Natureza da Luz, com alunos do Ensino Médio como forma concreta de introduzir o conteúdo da Física Moderna na Educação básica. A proposta desta intervenção está pautada na teoria de aprendizagem por David Ausubel, a aprendizagem significativa, como afirma Moreira (2000, p.5), “o aprendiz não é um receptor passivo. Ele deve fazer uso dos significados que já internalizou, de maneira substantiva e não arbitrária, para poder captar os significados dos materiais educativos”. Nós propomos uma Sequência Didática para 33 alunos da 3ª série do Ensino Médio do Colégio João Zacco Paraná Ensino Fundamental, Médio e Profissional, sendo aplicado em dois momentos, em março de 2017 e, em novembro de 2017. Para isso, adotamos estratégias para se trabalhar a natureza dual da luz através de vídeos, simuladores computacionais e experimentações, para demonstrar o comportamento da luz em cada caso e explorar este conceito a fim de tornar a aprendizagem significativa para o estudante. Como instrumento de coleta de dados utilizamos um pré-teste e ao final da intervenção aplicamos um pós-teste. Primeiramente, assistimos a vídeos, tendo por objetivo a retomada de alguns conceitos sobre a luz e seu comportamento, visto na 2ª série do Ensino Médio e o conteúdo que envolve novos conceitos sobre a luz, estudado em Física Moderna na 3ª série do Ensino Médio. Em seguida, foi usado um simulador para trabalhar a temática do Efeito Fotoelétrico e de Interferência de onda, para a observação das conclusões do experimento, sendo que, na maioria das vezes é difícil à visualização em sala de aula, seja pela falta de recursos ou pela própria limitação da observação dos experimentos. E com a experimentação que explica o Efeito Fotoelétrico, procuramos demonstrar estudos realizados para a comprovação de conceitos, com o objetivo de instigar e despertar a investigação científica no estudante. Concluímos ser viável a ampliação dessa prática para todos os assuntos para o Ensino de Física no Ensino Médio.

Palavras-chave: Ensino de Física, Efeito Fotoelétrico, Interferência de Onda, Física Moderna.

MEDIANEIRA
Maio - 2018

ABSTRACT

This dissertation aims to develop, apply and analyze a Didactic Sequence for the study of the nature of light, with high school students as a concrete way to enter high school, the modern physics. The proposal of this intervention is based on learning theory by David Ausubel, significant learning, as stated by Moreira (2000, p. 5), "the apprentice is not a passive receiver. He should make use of the meanings that have internalized, substantive manner and not arbitrary, in order to grasp the meanings of educational materials. We propose a Didactic Sequence for 33 third grade pupils of high schools of the College John Zacco Paraná junior high, high school and professional, being applied in two moments, in March and in November 2017. To this end, we have adopted strategies to work with the dual nature of light through videos, computer simulators and experiments, demonstrating the behavior of light in each case and exploring this concept in order to make learning meaningful for the student. How to use data collection instrument a pre-test and a post-test intervention final. First, we watched the videos, having as objective the resumption of some concepts about light and your behavior, seen in the second grade of high school and the content involving new concepts about light, studied in modern physics in the third grade of high school. Then, it was used a simulator to work the theme of the photoelectric effect and wave interference, seeking the observation of the conclusions of the experiment, and, in most cases it is difficult to visualize in the classroom, whether by the lack of resources or by limiting the observation of experiments. And with the trial explaining the photoelectric effect, we seek to demonstrate and studies made for proof of concepts, instigating and arousing the scientific research on the student. We conclude the enlargement of this practice be feasible for all subjects for the teaching of Physics in high school.

Keywords: Physical education, photoelectric effect, wave Interference, modern physics.

MEDIANEIRA
May 2018

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Dispersão da luz branca ao passar por um prisma, nas cores do arco íris.....	18
Figura 3.2: Representação esquemática do experimento da dupla fenda.....	18
Figura 3.3: Elementos de ondas sonoras e luminosas.....	19
Figura 3.4: Esquema da experiência de interferência da luz de um ponteiro laser que passa por duas fendas num cartão.....	20
Figura 3.5: Aparato experimental utilizado para observação de efeito fotoelétrico.....	23
Figura 4.1: Simulador de interferência de ondas.....	26
Figura 4.2: Simulador do Efeito Fotoelétrico, através da emissão de fótons os elétrons são emitidos da placa de metal	27
Figura 4.3: Cores do espectro visível	28
Figura 4.4: Demonstração do efeito fotoelétrico pela sensibilidade da resistência elétrica de LDR Demonstração do efeito fotoelétrico pela sensibilidade da resistência elétrica de LDR	29
Figura 5.1: Percentual de respostas dos alunos nas questões no pré-teste antes da intervenção. Questão 1: O que é a luz. Questão 2: O que é onda. Questão 3: O que é partícula. Questão 4: O que é o caráter dual da luz.	31
Figura 5.2: Percentual de acertos dos alunos das questões depois da intervenção. Questão 1: O que é a luz. Questão 2: O que é onda. Questão 3: O que é partícula. Questão 4: O que é o caráter dual da luz.....	41
Figura 5.3: Percentual de acertos dos alunos das questões 5 a 11 antes e depois da intervenção.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1: Sequência didática do produto educacional.....	25
Quadro 5.1: Categorias elaboradas para análise das respostas apresentadas pelos alunos	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1.1 Teoria Cognitiva.....	4
2.1.2 Teoria Comportamental	5
2.1.3 Teoria Sociointeracionista	6
2.1.4 Teoria da Aprendizagem Significativa	7
2.2 ESTRATÉGIAS DE APRENDIZAGEM.....	10
3 A DUALIDADE DA LUZ.....	17
4 PRODUTO EDUCACIONAL.....	24
4.1 PRIMEIRA ETAPA	25
4.2 SEGUNDA ETAPA.....	25
4.3 TERCEIRA ETAPA	27
4.4 QUARTA ETAPA.....	30
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	31
5.1 ANÁLISE PRÉ-TESTE	31
5.2 ANÁLISE DOS VÍDEOS.....	36
5.3 ANÁLISE DA SIMULAÇÃO DIGITAL	38
5.4 ANÁLISE DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL.....	40
5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PÓS-TESTE.....	41
5.6 CONCLUSÃO	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
8 ANEXOS: PRODUTO EDUCACIONAL.....	51

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Ele visa desenvolver e aplicar uma sequência didática voltada para os conceitos da natureza da luz ensinados a partir de metodologias diferenciadas, por meio de simuladores educacionais, recortes de vídeos e demonstrações com a finalidade de explicar a dualidade da luz. Assim, para nortearmos nossa ação, estabelecemos a seguinte questão: como uma sequência didática pode ser elaborada para contribuir com o ensino de Física Moderna no Ensino Médio a fim de atingir a aprendizagem significativa? A proposta visa analisar uma sequência didática que contribua com o ensino de Física Moderna no Ensino Médio a fim de atingir a aprendizagem significativa dos alunos. Analisar o conhecimento prévio dos alunos relacionados ao conhecimento sobre a dualidade da luz, construir uma sequência didática sobre conceitos da dualidade da luz e aplicar a sequência didática em uma sala da terceira série do ensino médio. Através de um teste avaliar de forma objetiva a eficácia da sequência didática.

Uma aprendizagem significativa se dá por meio de processos de ligação entre o conhecimento anterior, que o aprendiz traz consigo, e o novo conhecimento a ser construído pelo aluno, com todas as expectativas voltadas para o ato de aprender e para a disposição do estudante em querer aprender. Para Ausubel (1963, p. 58), a aprendizagem significativa é o mecanismo humano, deve ser relacionável com outros conhecimentos, com os interesses do aprendiz, fazer sentido a ele, para que se sinta estimulado a aprender.

Trazer a Física Moderna para a sala de aula significa aproximar as novas descobertas dos estudantes, conforme as mesmas se desenvolvem. Compreender que há uma continuidade na Ciência e que ela está em constante modificação. Se os alunos estudarem somente a Física Clássica terão não mais que a visão do que foi a Física até metade do século XIX, sem saber que muito se modificou e ainda se modifica.

Utilizar-se de estratégias diferenciadas para o Ensino da Física Moderna na escola envolve planejamento do professor e preparação para trabalhar com estas estratégias, como o uso das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) e da experimentação em sala de aula.

A compreensão da dualidade da luz é um conceito abstrato pelos alunos e difícil de ser explicado pelo professor somente através da exposição oral. Se o tempo permite estudar somente alguns conteúdos com mais profundidade, cabe ao professor observar a relevância de cada um deles, de acordo com o público-alvo. Quando se traçam novas estratégias para o ensino de Física, principalmente sobre os conteúdos de Física Moderna, é preciso estabelecer oportunidades para discutir essas novas alternativas metodológicas, com vistas a melhorar o ensino de Física, por meio da contextualização do conhecimento, que deve fazer parte do planejamento do professor (SAUERWEIN e DELIZOICOV, 2008).

A utilização de simuladores permite ir além do estudo tradicional; promove a observação de fenômenos e contribui para a compreensão dos mesmos. A Física Moderna, mais especificamente, o estudo da natureza da luz, trata de conceitos abstratos e, com o uso dos simuladores, é possível demonstrar na prática esses conceitos e ainda associar os conhecimentos com experimentações em que ambos se complementam.

Segundo Rosa (2012, p. 35), atualmente a Ciência e a Tecnologia andam juntas e, ambas necessitam uma da outra, pois a Ciência, por exemplo, permite a criação de técnicas e a melhoria das já existentes, enquanto a Tecnologia contribui com instrumentos e máquinas para o desenvolvimento científico. É preciso compreender que a Física Moderna está presente no dia a dia, e que os avanços das tecnologias nos mostram que, cada vez mais, necessitamos aperfeiçoar os conhecimentos científicos. As tecnologias atuais não são mais baseadas tão somente nas leis da Mecânica Clássica, mas também em um conhecimento muito mais profundo (DOMINGUINI, 2012, p. 2502-6), e é nesse sentido que esse conhecimento se faz cada vez mais necessário aos alunos.

Para a compreensão da natureza ondulatória da luz, procuramos demonstrar que é possível trabalhar com simuladores, por meio da observação da difração e a interferência da luz, e ao mesmo tempo, com experimentações que demonstram, na prática, o comportamento da luz quando lançada sobre fendas, de modo que uma proposta complementa a outra.

Para a explicação do comportamento particular da luz, optamos por trabalhar com simuladores para demonstrar como ocorre o efeito fotoelétrico, já

que abrange fenômenos microscópicos. Com o uso desta ferramenta, ficou claro que a luz tem comportamento dual, mas não ao mesmo tempo, ora se comporta como onda, ora como partícula, e como é possível chegar a esta conclusão.

O aluno é o centro da aprendizagem, e através desse trabalho propõe-se uma dinâmica onde ele poderá desenvolver seu pensamento crítico; que possa, através dos seus conhecimentos prévios, apreender os conhecimentos científicos baseados no conceito da dualidade da luz por meio de várias estratégias de ensino-aprendizagem.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para aprender um conteúdo que seja significativo, o estudante necessita compreender e apreender a sua linguagem, sem que haja uma arbitrariedade, mas que os conhecimentos se somem para uma melhor explicação dos conceitos, com vistas a chegar a uma nova maneira de perceber e observar o mundo. Dentro do ensino é preciso buscar maneiras e métodos que facilitem a aprendizagem, como por exemplo, os questionamentos frequentes, nos quais o aluno não é somente o receptor do conhecimento, jamais deixar de lado o conhecimento prévio que cada estudante traz consigo, suas experiências, para assim relacionar o novo conhecimento com tudo aquilo que ele já conhece (MOREIRA, 2000, p. 20).

Com o estudo e análise de algumas dessas teorias como a Teoria Behaviorista ou Comportamentalista de Pavlov e Skinner, Teoria Cognitivista de Piaget, Teoria Sociointeracionista de Vygotsky e a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausebel. Vamos apresentar a seguir uma breve análise sobre cada uma das teorias.

2.1.1 TEORIA COGNITIVA

Uma das teorias é a Teoria Cognitiva, segundo a qual se conhece e atribui-se significado a partir de representações, lembranças, pensamentos e experiências sensoriais (LAKOMY, 2008). Entre os estudiosos desta área podemos citar Jean Piaget, que trabalhou o construtivismo psicogenético que definia conceitos chave, dentre as quais a assimilação colocava o sujeito como foco principal e que inicia a interação com o meio. Piaget fala em aumento de conhecimento, onde “só há aprendizagem (aumento de conhecimento) quando o esquema de assimilação sofre acomodação” (MOREIRA, et al., 1997, p. 22), assim, a acomodação se constitui no processo de transformação das estruturas do sujeito por força da ação do objeto para a assimilação se realizar (LAKOMY, 2008).

Outro grande estudioso da Teoria Cognitiva, defensor do sociointeracionismo, foi Lev Vygotsky, com ênfase na linguagem, contexto

histórico, cultural e social, e o desenvolvimento real e potencial do estudante (LAKOMY, 2008). Desse modo, ele descreve os processos mentais, como pensamento e linguagem, com origem em processos sociais, em que o “desenvolvimento cognitivo é a conversão de relações sociais em funções mentais. Nesse processo, toda relação/função aparece duas vezes, primeiro em nível social e depois em nível individual” (MOREIRA, et al., 1997, p. 25), assim, é possível dizer que os estudos de Vygotsky dão ênfase à interação social e, a partir dela, o conhecimento é construído.

Para Novak, “uma teoria de educação deve considerar que seres humanos pensam, sentem e agem e deve ajudar a explicar como se pode melhorar as maneiras através das quais as pessoas fazem isso” (MOREIRA, et al., 1997, p. 31). Para ele, qualquer evento educativo é um momento para troca de significados entre professor e aluno.

O pesquisador considera que os sentimentos envolvidos na aprendizagem podem ser positivos quando o estudante ganha intelectualmente e negativo quando ele não sente que está adquirindo um conhecimento novo, pois é preciso querer aprender, para que realmente se possa ter uma aprendizagem significativa.

2.1.2 TEORIA COMPORTAMENTAL

A Teoria Comportamental defende que a aprendizagem é um processo pelo qual o comportamento é modificado, e este é estimulado por reforço positivo e negativo. Um dos estudiosos dessa teoria é Burrhus Skinner, para o qual a resposta a um estímulo é dada mediante uma operação que leva a uma gratificação para reforçar o comportamento e punição para cessar o comportamento.

Os três tipos de estímulos são os seguintes:

- Estímulo neutro - é involuntário, pois não está relacionado com uma ação ou reação; todavia, deve-se sempre perguntar se ele é neutro em relação a que. Um evento qualquer costuma ser reativo em relação à uma ação e neutro em relação à outra, como por exemplo, a contração da pupila.

- Estímulo condicionado - era neutro em um primeiro momento, mas depois de vivenciar diversas repetições e associações, passou a ser condicionado, como por exemplo, o resultado de treinamento de animais.
- Estímulo incondicionado - é o mesmo que um reflexo inato, que é natural do organismo, como por exemplo: estímulo incondicionado – calor = resposta incondicionada-suor.

2.1.3 TEORIA SOCIOINTERACIONISTA

Vygotsky é o fundador da teoria sociointeracionista que pode ser dividida em dois princípios. O primeiro princípio é estudar o processo, pois o pesquisador entende que o estudo histórico do comportamento é a base de tudo. Nesse contexto, o desenvolvimento cultural da criança somente pode ser compreendido como um processo vivo de desenvolvimento, de formação, de luta e, nesse sentido, deve ser objeto de um verdadeiro estudo científico (LA ROSA, 2003, p. 128). O segundo princípio expõe a origem social dos fenômenos psicológicos. Esse fato deve ser levado em consideração em qualquer pesquisa, pois sem ele pode-se cair um reducionismo psicológico social.

A teoria sociointeracionista está centrada, basicamente, no processo da mediação, que está dividida em dois tipos de elementos mediadores: os instrumentais e os signos. O instrumental é o que está entre o trabalhador e o seu objeto de trabalho. Já o signo age como um instrumento da atividade psicológica de maneira análoga ao papel do instrumento de trabalho (LA ROSA, 2003, p. 133).

Com base nessas relações, Vygotsky disse que o sujeito constrói o conhecimento pela aprendizagem de modo que promova o desenvolvimento mental, e por meio dele, deixa de ser um animal para se tornar um ser humano. Dessa forma, tanto a aprendizagem quanto o desenvolvimento acontecem pela dialética.

Na teoria de Vygotsky, o professor é visto como um mediador, pois o ser humano está em constante desenvolvimento mental e todas as suas relações são conquistadas pela mediação. Em vista disso, qual a atitude que o tutor

deve assumir para mediar a relação entre o aluno e o conhecimento, tendo por base o fato de que essa relação é dialética? Diante de uma dúvida do aluno, o tutor deve usar de provocações que o conduzam a descobrir a resposta sozinho. Para ele, esse é o papel do mediador: um provocador de ideias.

É preciso buscar, através das propostas de trabalho na escola, métodos que facilitem o ensino-aprendizagem, promover, quando necessário, uma mudança conceitual com o intuito de facilitar a aprendizagem tornando-a significativa. Além das citadas anteriormente, várias foram as teorias de aprendizagem que buscaram entender esta relação entre o conhecimento e o aluno.

2.1.4 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Na aprendizagem significativa, como afirma Moreira (2000, p. 5), “o aprendiz não é um receptor passivo. Ele deve fazer uso dos significados que já internalizou, de maneira substantiva e não arbitrária, para poder captar os significados dos materiais educativos”; ao mesmo tempo em que o estudante aprende, ele concilia as ideias acerca daquele conhecimento, construindo-o e produzindo-o a partir dos novos significados. O professor expõe o estudante a novas situações de ensino-aprendizagem, identifica, ao mesmo tempo, suas habilidades e dificuldades. Assim, pode-se afirmar que trazer significado ao contexto a ser estudado faz com que o aluno traga-o para dentro da sua cultura, e reconheça ao mesmo tempo o real objetivo daquela aprendizagem, onde a

Aprendizagem significativa é aprendizagem com significado, compreensão, sentido, capacidade de transferência; oposta à aprendizagem mecânica, puramente memorística, sem significado, sem entendimento; dependente essencialmente do conhecimento prévio do aprendiz, da relevância do novo conhecimento e de sua predisposição para aprender. Essa predisposição implica uma intencionalidade da parte de quem aprende (MOREIRA, 2000, p. 6-7).

Para Ausubel (2003), a aprendizagem significativa tem um caráter progressivo, ou seja, à medida que ocorre a interiorização de novos significados, eles vão se sucedendo em escalas de complexidade, progressivamente. Assim, o conhecimento prévio é a variável isolada mais

importante na progressão da aprendizagem significativa; ele pode ser alterado pela aprendizagem de novos conceitos, e também pela reformulação dos próprios conhecimentos prévios.

A aprendizagem por recepção significativa requer a aquisição de novos significados a partir do material de aprendizagem apresentado. São colocadas três condições para a ocorrência da aprendizagem significativa, segundo Ausubel (2003), a saber:

- O material de ensino e aprendizagem deve ser “potencialmente significativo”.
- O novo conteúdo precisa se relacionar de forma não arbitrária e substantiva com o subsunçor que o aluno possui.
- O aluno precisa ter predisposição para aprender de forma não arbitrária e substantiva.

Os princípios programáticos facilitadores da aprendizagem significativa devem ser levados em conta pelo professor na hora de planejar sua estratégia de aula, ou seja, o professor deve estar atento ao conteúdo e às formas de organização desse conteúdo no sistema cognitivo do aluno. Cada um desses princípios está destacado a seguir:

- Diferenciação Progressiva – as ideias mais gerais e inclusivas devem ser apresentadas desde o início da instrução e progressivamente ser diferenciada em termos de dificuldade e detalhes e especificidade. Aquilo que é mais importante deve ser introduzido desde o início.
- Reconciliação Integradora – deve explorar as relações entre conceitos e proposições, chamar atenção para semelhanças e diferenças e reconciliar em consistências reais e aparentes.
- Organização Sequencial – sequenciar os tópicos ou unidades de ensino tanto coerente quanto possível observando os princípios programáticos de diferenciação progressiva e de reconciliação integradora, levando em conta as relações de dependência entre elas na matéria de ensino.
- Consolidação – respeitar a progressividade de ensino insistindo no domínio do que está sendo estudado antes de progredir com novos conhecimentos. Faz parte desse princípio a ideia de que a variável

mais importante para o conhecimento seguinte é o conhecimento prévio.

Para que haja aprendizagem não arbitrária e não literal, é necessário o uso de um material potencialmente significativo e que aspectos mais amplos e relevantes sejam trabalhados desde o início, para a ocorrência da diferenciação progressiva em níveis mais profundos e específicos deve-se promover a busca de relações entre conceitos e proposições, com o propósito de apontar similaridades ou diferenças através da reconciliação integradora (Moreira, 1999). Para que seja possível constatar a aprendizagem significativa, o aluno deve demonstrar a posse dos novos conhecimentos, com uma avaliação que apresente situações novas, em que possa transferir seus conhecimentos.

Podemos admitir a aprendizagem significativa como base de sustentação de várias teorias de aprendizagem e, com isso, para inferir a sua ocorrência, é possível utilizar outros mecanismos que não os de Ausubel.

A teoria escolhida como foco do projeto, foi a teoria de aprendizagem proposta por David Ausubel: a Teoria da Aprendizagem Significativa, pela qual a “estrutura cognitiva tende a organizar-se hierarquicamente em termos de nível de abstração, generalidade e inclusividade de seus conteúdos” (MOREIRA, et al. 1997, p. 22).

As sequências didáticas são maneiras de intervir em sala de aula com atividades que contemplam o conteúdo e são mais significativos aos estudantes. Para Zabala (1998, p. 18) sequências são “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos”, através destas atividades é possível criar novas estratégias que valorizem o processo de ensino e de aprendizagem.

Trabalhar com sequências didáticas possibilita ao professor explorar o assunto sob diversas maneiras, possibilita que o aluno construa o conhecimento ao longo das situações que lhe são colocadas e consiga debater os resultados e reflita sobre os conceitos apreendidos.

2.2 ESTRATÉGIAS DE APRENDIZAGEM

A utilização de diferentes estratégias de ensino em sala de aula traz um leque de opções a serem trabalhadas pelo professor, na busca de atingir o estudante de várias formas. O docente deve realizar um planejamento que envolva mais de uma estratégia de ensino, buscar instigar o aluno a aprender.

Uma estratégia é a utilização de analogias, que devem vir acompanhadas dos conceitos originais e, na sua produção, o professor deve entender que a “intenção explícita de construção de conhecimento não é algo ‘dado’, mas sim o resultado de um ‘caminho’ a ser construído e trilhado pelos alunos” (ZAMBON e TERRAZZAN, 2013, p. 1505-3). O professor precisa mediar o entendimento dos alunos para que fique clara a proposta de ensino e o estudante não confunda a analogia com o real que significa.

Com os devidos cuidados, o uso de analogias em sala de aula representa uma maneira de interpretar um novo conceito, pois “utilizar uma analogia é realizar um mapeamento de uma estrutura conceitual a outra” (SANTOS e NUNES, 2013, p. 2401-2), fazer a ligação entre o que o aluno conhece e o novo conhecimento. A utilização de analogias no Ensino de Física é uma estratégia que pode ser levada para sala de aula em diversos conteúdos para facilitar a compreensão do estudante.

Outra estratégia positiva para levar para a sala de aula é trabalhar com a História da Ciência, não só em seus conceitos fundamentais, mas a própria Ciência em si (ARTHURY e PEDUZZI, 2013), em que desperte no aluno o significado dos conteúdos, suas conexões, sendo ele ouvido no processo de ensino-aprendizagem, fazer parte constantemente das discussões em torno dos temas abordados em sala de aula. Essa discussão leva os estudantes a exercitar seu pensamento crítico, posicionar-se diante de teorias e tentar compreendê-las a partir de fatos que mostram a razão pela qual tais rumos foram tomados, porque se demorou tanto para chegar a uma conclusão satisfatória e que os cientistas não foram pessoas isoladas da sociedade e sim trabalhavam muitas vezes em função dela e de suas necessidades.

O estudo sobre a Natureza da Ciência, ilustrada a partir de episódios da História, permite perceber a provisoriabilidade do conhecimento científico. Quando o estudante do Ensino Médio é estimulado a compreender as mudanças que

ocorrem na Ciência, nada mais justo que fazer com que ele se questione o porquê dos caminhos que a Física seguiu. Morais e Guerra (2013) descrevem que os próprios alunos sentem mais vontade em aprender significados quando estão inseridos em discussões históricas sobre os conteúdos, se conseguem compreender como os fatos aconteceram, o que levou a cada descoberta, porque a Ciência está em constante construção e não há um ponto final.

O uso das TDIC é um recurso favorável ao ensino e que cada dia ganha mais espaço, devido ao seu grande avanço e facilidade de acesso pelos estudantes. Segundo Pires e Veit (2006, p. 247), que tentaram introduzir o uso das TDIC para abordagem dos conteúdos de Física, o ensino usando TDIC exige do professor muito mais tempo de trabalho extra aula, como esse tempo de planejamento é maior, precisa ser compensador trazer ao aluno a exploração de conteúdos até antes impossíveis de serem visualizados na prática, o que é possível através do uso de animações e simuladores, por exemplo.

Cabe ressaltar, também, que as tecnologias atuais, conhecidas dos alunos, como celulares, lâmpadas e televisões de LED, *tablets* entre outras, são desenvolvidas graças ao avanço da Física. Assim, o aluno pode ter curiosidade em saber mais sobre o assunto com o celular no bolso, pois o aluno não tem consciência de quanta Física foi necessária para produzi-lo. Desse modo, o estudo da Física através dessa ferramenta, pelo professor em sala de aula, passa a ter cada vez mais importância (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2001).

Uma estratégia muito utilizada pelos professores é o uso de experimentações em sala de aula. Com a representação de experimentos históricos que tentam estabelecer, no âmbito do ensino, uma reconstrução de experimentos desenvolvidos pelos cientistas ao longo dos séculos. Com a experimentação é possível reconstituir os passos feitos por seus idealizadores, observar as hipóteses que estavam em discussão, e buscar a compreensão do seu significado.

O estudo da natureza dual da luz ainda é um conteúdo pouco trabalhado em sala de aula, visto que a natureza ondulatória da luz é trabalhada apenas no segundo ano do Ensino Médio. Este conteúdo é abordado somente no estudo da Óptica Geométrica e, por muitas vezes, os professores acabam por

não abranger a parte dual. No terceiro ano do Ensino Médio, ao trabalhar a Física Moderna, é apresentado o conteúdo da dualidade da luz, muito rapidamente e sem ênfase, o que faz com que os estudantes desconheçam ou pouco compreendam esse conteúdo.

Demorou-se muito tempo para entender o que levava de fato à compreensão da natureza da luz, e que ela não era somente uma onda ou partícula, mas sim, que tinha caráter dual. Este tema foi escolhido, como objeto deste trabalho, por mostrar em que momento se cessa uma visão Clássica sobre um conhecimento e se passa a ter uma visão Moderna, o que leva a uma mudança de concepções. Através desse tema, é possível compreender que para um mesmo assunto há diversas teorias e que elas nunca terminam nem têm um ponto final em sua procura. Por mais que este trabalho aborde a importância de se ensinar a natureza dual da luz com diferentes estratégias didáticas, ao mesmo tempo existem outros estudos sobre esse tema, mas com outras definições, pois a Ciência está em constante construção e transformação.

Muitos recursos didáticos podem ser utilizados nas aulas de Física a fim de melhorar o ensino formal. Nesse sentido, as TDIC vêm ganhando espaço de destaque nos últimos anos. A democratização do acesso à internet facilita pesquisas de conceitos bem como a visualização destes por meio das mais variadas ferramentas, dentre as quais estão os vídeos, imagens, simuladores computacionais, animações, hipertextos, entre outros. O uso da internet também pode auxiliar na montagem de experimentos virtuais, na análise de dados experimentais, para complementar o ensino em sala de aula. (CAVALCANTE, et al., 2001).

A utilização de ambientes computacionais pode funcionar como uma extensão da sala de aula e favorecer a interação entre o estudante e o conhecimento. Esses ambientes abrangem um maior número de alunos, afinal, “softwares educacionais apresentam-se como alternativa para alunos com diferentes graus de desenvolvimento cognitivo e diferentes concepções em relação ao assunto abordado, respeitando as particularidades entre o variado grupo de usuários do software” (RIBEIRO JUNIOR, et al., 2012, p. 4602-2).

Para utilizar simuladores encontrados na internet, o professor necessita se apropriar do conhecimento e do funcionamento dessa ferramenta antes de

apresentá-la aos alunos. Isso favorece o processo de ensino-aprendizagem. A simulação de experimentos, oferece aos alunos uma possibilidade de visualizar uma situação física mais de perto (RIBEIRO JUNIOR, et al., 2012, p. 4602-2). As TDIC levam o aluno para além da sala de aula, o fazem praticar suas habilidades, bem como, facilita a exploração no seu tempo o Ambiente Virtual de Ensino e Aprendizagem (AEVA) organizado pelo professor.

A experimentação é uma das estratégias que podem ser utilizadas ao trabalhar com os alunos, quando se busca que os mesmos se envolvam com os conceitos estudados. O uso de materiais diferentes daqueles que estão acostumados a manusear, faz com que tenham mais curiosidade e vontade de investigar o fenômeno observado.

É importante compreender que a utilização da experimentação traz uma nova visão para o conceito que vai ser estudado, rompe com a ideia de que o aluno é um mero receptor do conhecimento, pois ele interage com a situação. Segundo Terrazzan, et al., (2008, p. 6) a experimentação permite “privilegiar o fazer, o manusear, o operar e o agir em diferentes formas e níveis. Além disso, as atividades didáticas, baseadas neste recurso, devem ser planejadas de modo a garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno”.

É preciso compreender que o ensino de Física, muitas vezes, passa a ideia de algo difícil de compreender, de trabalhar e pode acarretar em um ensino mais transmitido que ensinado, no qual “a própria visão da ciência, e da Física em particular, [é] geralmente entendida e repassada para o aluno como um produto acabado” (BONADIMAN e NONENMACHER, 2007, p. 194). Com isso, o estudante pode entender que não há nada novo a ser investigado, como se a Física não tivesse sua história, suas percepções, seus paradigmas, sua evolução ao longo dos séculos.

Por meio dessa experiência, foram discutidos temas que abordam possibilidades de como pode ser comprovada a natureza ondulatória da luz e como pode ser comprovada sua natureza corpuscular. Para tanto, foi lançada a pergunta: Afinal, a luz é onda ou partícula? Tendo em vista o conhecimento prévio do aluno sobre luz, foram utilizadas lâmpadas, lasers com luz monocromática, para instigar o debate sobre o assunto. Buscamos, dessa forma, resgatar a importância do conhecimento prévio dos alunos para se chegar a um aprendizado significativo, que segundo Weisz e Sanchez existe:

A necessidade de ter claro o que o aluno já sabe no momento em que lhe é apresentado um conteúdo novo, já que o conhecimento a ser construído por ele é, na verdade, uma reconstrução que se apoia no conhecimento prévio de que dispõe. O conhecimento prévio é o conjunto de ideias, representações e informações que servem de sustentação para essa nova aprendizagem, ainda que não tenham, necessariamente, uma relação direta com o conteúdo que se quer ensinar. [...] Conhecer essas ideias e representações prévias ajuda muito na hora de construir uma situação na qual o aluno terá de usar o que já sabe para aprender o que ainda não sabe (WEISZ e SANCHEZ, 2006, p.93).

A aprendizagem significativa necessita de uma vinculação do que o aluno sabe com os novos conhecimentos, rompendo barreiras entre o antigo e o novo, deixando de lado a memorização e enfatizando o significado (PELIZZARI, et al., 2002). É preciso que o professor tenha em mente a importância do planejamento voltado ao estudante, de modo que ele consiga transformar o conhecimento científico em conhecimento escolar, por meio da transposição didática². Pois a “maioria dos conceitos apresentados aos alunos tem pouco (às vezes nenhum) significado para eles. Assim, aquilo que lhes é ensinado difere totalmente do que vivenciam fora da escola” (BROCKINGTON, PIETROCOLA, 2005, p. 389), não conseguem enxergar os conceitos em outras situações além da sala de aula, aí a relevância do ensino que tenha significância ao estudante.

Cientes disso, buscamos trabalhar com diferentes estratégias de ensino-aprendizagem, utilizando-se das TDIC e de variadas demonstrações, na tentativa de envolver o estudante de várias formas, trazendo-o para dentro do conteúdo, na busca de desenvolver a aprendizagem sobre o que é a natureza dual da luz, evidenciar que ela não ocorre ao mesmo tempo e sim, que há momentos em que se comporta como onda e outros como partícula.

As estratégias escolhidas para se trabalhar a natureza dual da luz foram: por meio de vídeos, simuladores computacionais e experimentações, para

² A transposição didática é um “instrumento” pelo qual analisamos o movimento do saber sábio (aquele que os cientistas descobrem) para o saber a ensinar (aquele que está nos livros didáticos) e, por este, ao saber ensinado (aquele que realmente acontece em sala de aula).

demonstrar o comportamento da luz em cada caso e explorar esse conceito a fim de tornar a aprendizagem significativa para o estudante.

Primeiramente, assistimos aos vídeos, cujo objetivo foi a retomada de alguns conceitos sobre a luz e seu comportamento, conteúdo visto no 2ª série do Ensino Médio, e apresentar novos conceitos sobre a luz, tema estudado em Física Moderna na 3ª série do Ensino Médio. Foi trabalhado o uso de simuladores para a observação de ideias e de experimentos de difícil visualização em sala de aula, seja pela falta de recursos ou pela própria limitação da observação dos experimentos. Com essa experimentação, buscamos demonstrar estudos realizados para a comprovação de conceitos, instigando e despertando a investigação científica no estudante.

Os vídeos que foram assistidos pertencem a uma série didática produzida em 1984 para a TV educativa pública da província de Ontário, no Canadá, TVO, que está disponível no site do YOUTUBE³, site de compartilhamento de vídeos. É necessário um prévio cadastramento pessoal para acessá-los e para que se possam publicar vídeos neste site, os quais são de livre acesso ao público.

Os simuladores que foram trabalhados são da Universidade de Colorado Boulder, fundada em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, intitulado PhET Simulações Interativas em Ciências e Matemática, disponível pelo site: https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Esse site produz simulações interativas com distribuição gratuita⁴.

A seguir vamos apresentar uma revisão bibliográfica sobre a evolução histórica dos conceitos de luz que são abordados para a compreensão dos temas trabalhados.

³ YOUTUBE da língua inglesa você transmite. É uma plataforma de compartilhamento de vídeos com sede em San Bruno. O serviço foi criado por três ex-funcionários do PayPal - Chad Hurley, Steve Chen e Jawed Karim - em fevereiro de 2005.

⁴ A Licença de Atribuição Creative Commons cumpre o requisito de que todo o conteúdo submetido como aulas, atividades, entre outras, sejam disponíveis sob uma licença de conteúdo aberto, pois permite que autores recebam o crédito por seus esforços.

3 A DUALIDADE DA LUZ

As discussões e definições sobre o conceito de luz, que analisa como funciona a visão, vêm de longa data, de séculos antes de Cristo, tendo os antigos filósofos gregos como protagonistas. Os Pitagóricos (~500 a.C), por exemplo, acreditavam que a visão era causada por raios de luz emitidos pelo próprio olho, e que se propagava em direção aos objetos. Essa concepção encontra uma limitação prática, uma vez que, segundo ela, objetos poderiam ser vistos mesmo em meio à completa escuridão. Para Empédocles (sec. V a.C.), a luz era composta de onda de alguma espécie e muito veloz (ROCHA et al., 2011).

Para outros filósofos, como Demócrito (460-357 a.C), a luz ou feixe luminoso partia dos objetos e penetrava os olhos do observador, formando neles a imagem. De modo semelhante, no escuro intenso os objetos continuariam visíveis, pois o feixe de luz não deixaria de partir deles. Platão (428-348 a.C) acreditava que a visão aconteceria a partir de um encontro de raios emanados dos olhos do observador com outros provenientes dos objetos denominados corpos luminosos. Aristóteles (384-322 a.C) definiu que a luz se desenvolve em um meio transparente, sendo ativada por uma substância ígnea, decorrida de uma atividade em um determinado meio, fazendo o objeto luminoso vibrar, colocando o meio indefinido (para ele) em movimento (ROCHA et al., 2011).

Galileu Galilei, René Descartes, Christian Huygens, Isaac Newton, Thomas Young, Augustin-Jean Fresnel, James Clerk Maxwell, são alguns estudiosos que buscaram uma resposta a essa pergunta. Pretendia-se compreender como a luz poderia estar em todos os lugares e percorrer caminhos de forma tão rápida. Ainda prevalecia certa dificuldade em compreender como ocorria a visão. Seria a luz composta por raios luminosos que chegavam a todos os objetos, propagando-se por todos os lugares em linha reta como a Física Clássica tentou por muito tempo explicar (ROCHA et al., 2011).

Durante muitos séculos prevaleceu na História da Física a ideia de que a luz era um raio luminoso que se propagava em linha reta, necessitando de um

meio para se propagar. Galileu Galilei (1564–1642) foi um físico, matemático, astrônomo e filósofo florentino. Com seus estudos, melhorou significativamente o telescópio refrator e com ele descobriu as manchas solares, as montanhas da Lua, as fases de Vénus, quatro dos satélites de Júpiter, os anéis de Saturno, e as estrelas da Via Láctea. O que permitiu-lhe fazer observações e descobertas astronômicas que eventualmente fundamentaram o modelo heliocêntrico de Copérnico.

René Descartes (1596-1650), filósofo, físico e matemático francês, fez grandes contribuições para a física do século XVII. Ele descreveu a luz como uma perturbação, uma espécie de pressão que se transmite através de um meio contínuo, em linha reta e em todas as direções, a partir da fonte emissora. Considerava a luz como um feixe de partículas sujeitas a um choque mecânico quando incidiam sobre determinado meio (PEDUZZI, 2009). Em 1637, para demonstrar a lei da refração, ele utilizou a teoria corpuscular da luz, e concluiu que a sua velocidade era maior nos meios mais densos. Essa noção corpuscular confronta a conceituação anterior da luz como raio luminoso (ROCHA et al., 2011).

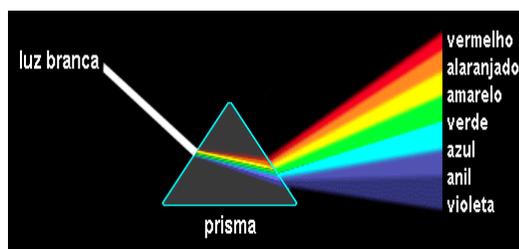
Isaac Newton (1642-1727) foi um cientista e matemático inglês que contribuiu significativamente para várias áreas da Física. Tem suas leis e equações usadas até hoje para descrever diversos fenômenos. Para ele, a luz seria composta por partículas. Em 1675 Newton definiu que a luz nada mais era do que algo capaz de provocar vibrações no éter⁵.

Não era a própria luz uma vibração do éter, mas sim com o movimento vibratório dos corpos eram emitidos corpúsculos de grande velocidade, que se propagavam com velocidade constante. O raio representaria a trajetória de um corpúsculo de luz. Newton não conseguiu sustentar suas ideias, dentre outras razões, por não existirem na época aparelhos com precisão necessária. Ele descobriu, porém, que a luz branca era a mistura de todas as cores, a partir da observação experimental da luz ao passar por um prisma, conforme ilustrado na Figura 3.1. Essa constatação o levou a descoberta da dispersão da luz,

⁵Éter constituído de um fluido que permearia todo o espaço e inclusivamente preencheria os interstícios da matéria, servindo para suporte de transmissão das forças gravítica, elétrica e magnética exercida à distância por um corpo sobre outro, ou de condução de luz.

produzindo uma mudança de concepções sobre o assunto (ROCHA et al., 2011).

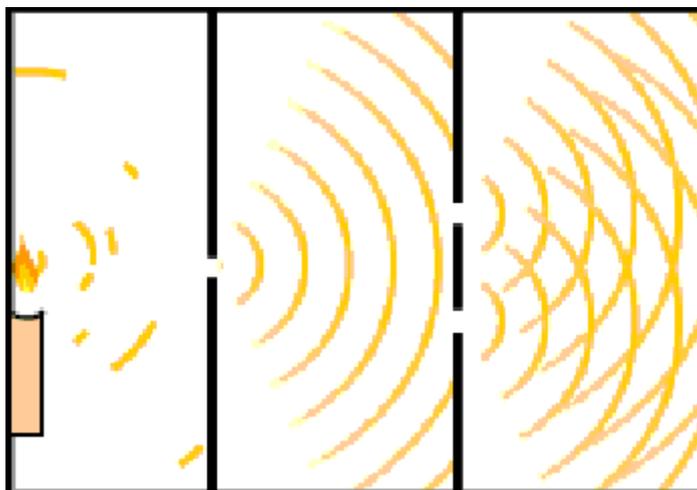
Figura 3.1: Dispersão da luz branca ao passar por um prisma, nas cores do arco-íris.



Fonte: <http://blogawtech.blogspot.com.br/2016/05/teoria-das-cores-1-o-que-e-teoria-das.html/>

Christian Huygens (1629-1695) foi um físico, matemático e astrônomo holandês, que, em 1678, defendeu a hipótese de que a luz era uma onda, conforme ilustra a Figura 3.2. Teoria que já havia sido proposta por Robert Hooke (1635-1703), que reconheceu a periodicidade nas cores, o que seria depois demonstrado cabalmente por Newton. Na visão de Hooke, a luz era constituída de vibrações muito rápidas, transmitidas através de um meio material. Mas sua intuição de um comportamento ondulatório da luz é digna de destaque.

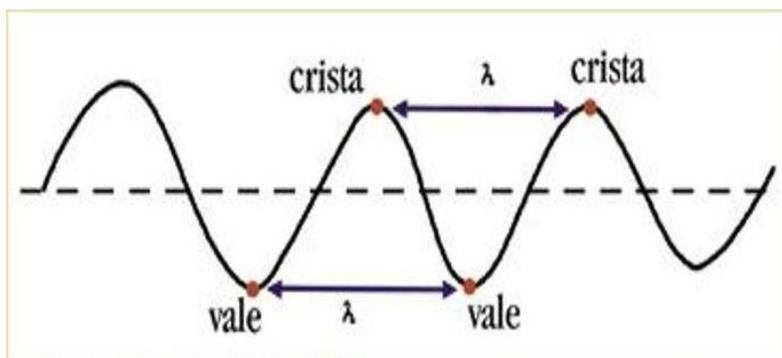
Figura 3.2: Representação esquemática do experimento da dupla fenda.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Dualidade_onda-corp%C3%BAsculo/

Em 1672, Huygens sugeriria que as vibrações luminosas poderiam ser perpendiculares à direção de propagação da luz. Huygens definiu para a onda suas cristas e vales, conforme ilustra a Figura 3.3, fazendo uma analogia com o som, que era considerado uma vibração mecânica em um meio. A diferença é que o movimento da luz, segundo ele, nascia de cada ponto do objeto luminoso, de forma que o mesmo pudesse ser visualizado por inteiro, então a luz consistia no movimento de certa matéria.

Figura 3.3: Elementos de ondas sonoras e luminosas



Fonte: Livro Didático Público/ SEED, 2006.

Nessa época não se considerava o espaço como vazio, mas sim que todo ele era ocupado pelo éter. Como o som não se propaga no vácuo, e a luz sim, Huygens concebeu a existência de um meio luminoso, que preenchia todo o espaço, e explicava o fato da luz ter uma grande velocidade pelas características desse meio, o qual seria um fluido, que chamou de “éter luminífero”, penetrando os poros de todos os corpos, não deixando espaços vazios (ROCHA et al., 2011).

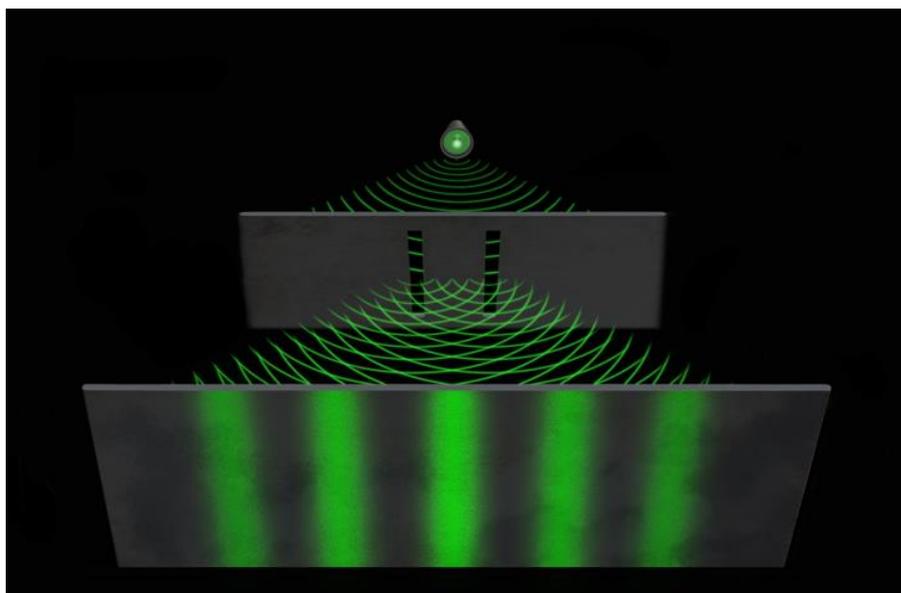
Ainda em 1678, Huygens descobriu a polarização da luz, porém não conseguiu explicá-la. Em seus experimentos encontrou uma resposta para o ajuste na intensidade da luz, na qual:

Tomou dois cristais de calcita e os colocou em sucessão, atravessando-os com um raio luminoso. Ao girar o segundo cristal em relação ao primeiro, observou que, conforme a posição relativa dos cristais, os raios emergentes poderiam ser em número de dois ou de quatro, com a intensidade de cada um variando durante a rotação (ROCHA et al., 2011, p. 237).

Thomas Young (1773-1829) foi um médico, físico britânico e professor do ensino superior que ajudou a dar uma base sólida para a teoria ondulatória da luz. Entre 1801 e 1803, Young conseguiu avaliar o comprimento de onda da luz, provando sua natureza ondulatória. Em sua experiência, ele construiu dois orifícios com um alfinete em um papel grosso, fazendo passar um feixe luminoso de luz solar sobre ele.

Obteve assim, pela primeira vez, uma figura de interferência luminosa, composta de franjas escuras e claras. A partir daí veio a fazer diversos testes com fendas, chegando à conclusão de que as mesmas produzem interferências construtivas e destrutivas, o que explica a existência das franjas, ver demonstração na Figura 3.4. Comprovou não só que a luz era uma onda, como também, que a interferência ocorre em qualquer situação em que a luz vinda de uma única fonte se divide em dois feixes que se recombinam após percorrerem caminhos de comprimentos diferentes. Assim era possível demonstrar o comportamento da luz ao passar por uma ou mais fendas, podendo desenhar seus padrões de interferência (ROCHA et al., 2011).

Figura 3.4: Esquema da experiência de interferência da luz de um ponteiro laser que passa por duas fendas num cartão.



Fonte: <http://www.altrogiornale.org/la-particella-interagisce-suo-campo-ondulatorio/>

O Físico francês Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), através de uma das demonstrações experimentais que confirmou o caráter ondulatório da luz realizada na Academia de Ciências em Paris, fez, também, uma demonstração matemática que explicava a propagação retilínea da luz, as leis de Descartes e os fenômenos de difração, o que levou a uma maior aceitação da teoria ondulatória da luz, em detrimento da teoria corpuscular de Newton.

Diante dessas diferentes constatações para a natureza da luz, se fazia necessário compreender qual hipótese estaria correta. Era a sua natureza ondulatória ou corpuscular? Essa foi a dúvida que perdurou na cabeça de muitos estudiosos por anos. Foi James Clerk Maxwell (1831-1879), físico e matemático, que, em seus estudos sobre ondas eletromagnéticas, demonstrou que a luz transporta energia com campos elétricos e magnéticos oscilantes. Sua definição foi confirmada em 1887 por Heinrich Hertz (1857-1894), um físico alemão de origem judaica, responsável pela descoberta das ondas eletromagnéticas em 1888, tendo sido atribuído à unidade de frequência o seu nome, em sua homenagem. Mostrou, experimentalmente, através do uso de circuitos elétricos que produziam faíscas, que as ondas eletromagnéticas têm todas as propriedades das ondas luminosas, confirmando a natureza ondulatória da luz.

A partir desse momento na História da Física, com esta comprovação de que a luz tem comportamento de onda, parecia, para muitos cientistas, ter-se chegado ao conceito correto de qual seria sua natureza. E foi abandonada por muitos a ideia corpuscular da luz, que voltou a ser posta em prova somente com o surgimento da Física Moderna.

Max Planck (1858-1947) foi um físico alemão que escreveu seu nome na História da Física Moderna em 1900, quando apresentou para a Sociedade de Física de Berlim a solução para o problema da radiação de corpo negro. Durante seis anos buscou uma expressão matemática que explicasse o problema, porém, para sua surpresa, chegou à conclusão de que era necessário supor que a radiação fosse descrita pela emissão de minúsculos pacotes, ou quanta de energia. Assim, a teoria quântica de Planck descrevia que “um corpo aquecido só podia emitir números inteiros de quanta energéticos em qualquer intervalo de tempo considerado” (ROCHA et al., 2011, p. 308). Como Planck acreditava na teoria clássica, foi difícil para ele admitir que a

radiação eletromagnética que, até o momento, tinha natureza ondulatória, tivesse outro comportamento.

Com essas ideias, Planck revolucionou a História da Física, na qual o conceito de energia contínua era substituído pela ideia de que ela somente poderia ter alguns valores discretos, ou seja, a energia era quantizada. A partir dessas ideias, surgiu a hipótese dos quantas de luz, introduzida por Albert Einstein, que serviu de base para a explicação de diversos fenômenos, como o efeito fotoelétrico (ROCHA et al., 2011).

Albert Einstein (1879-1955) foi um físico teórico alemão que teve grande influência nos estudos da Física no século XX; surpreendeu o meio científico em 1905 com a publicação de trabalhos sobre a Relatividade, Movimento Browniano e a Teoria do Efeito Fotoelétrico. Ele conhecia os trabalhos de Planck e também os estudos de Hertz, que em 1887 observou o efeito fotoelétrico enquanto tentava, através de experimentos, comprovar a natureza eletromagnética das ondas de luz. Ao perceber o fenômeno, porém, na época, não soube explicá-lo. Einstein, anos mais tarde, voltou-se a esta questão, propondo que a luz tinha propriedades de uma partícula para explicar o efeito.

Einstein explicou o efeito fotoelétrico, segundo a teoria corpuscular, em que a luz seria constituída por partículas de energias ou quantas de energias, dotadas de características ondulatórias e corpusculares que mais tarde ficaram conhecidos como fótons (ROCHA et al., 2011).

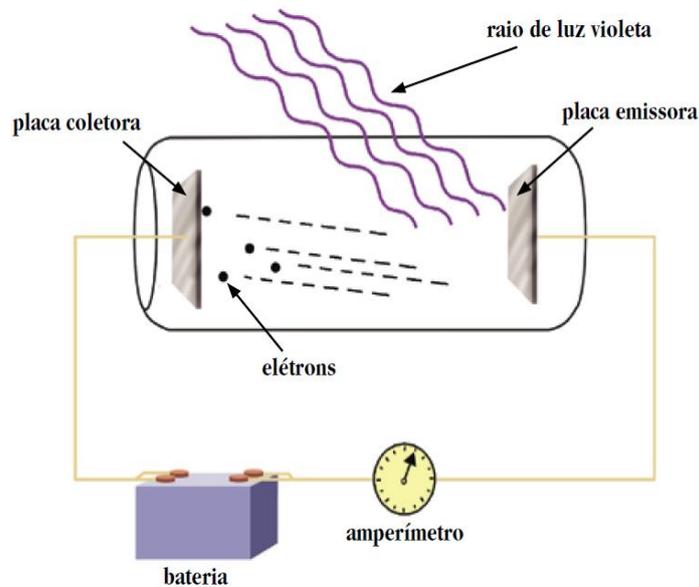
A Figura 3.5 representa o aparato experimental para observar o efeito fotoelétrico, onde a luz monocromática de frequência f (radiação ultravioleta, por exemplo) e intensidade luminosa I_0 incide sobre o catodo e faz com que ocorra a liberação de elétrons, os quais são atraídos pelo anodo. A experiência mostra que o potencial de corte independe da intensidade luminosa, o que contraria a teoria clássica, a qual previa que um aumento na intensidade luminosa provocaria um aumento na energia cinética dos fotoelétrons, além do potencial de corte (V_0).

Ao incidir luz sobre uma placa metálica, ou seja, quando um quanta chega à superfície do catodo, toda a sua energia é transferida para o elétron. Se a energia é suficiente para vencer a função trabalho⁶, os elétrons são

⁶ Função Trabalho: é a energia necessária para liberar o elétron do material.

arrancados da placa (catodo) e são coletados por outra placa próxima (anodo). Einstein também provou que a intensidade da luz não modifica o efeito fotoelétrico, pois não muda a energia do fóton ou a natureza do processo fotoelétrico (EISBERG e RESNICK, 1994).

Figura 3.5: Aparato experimental utilizado para observação de efeito fotoelétrico.



Fonte: Livro Didático Público/ SEED, 2006.

Assim, segundo Einstein, a luz era formada por milhões de pacotinhos de luz que possibilitavam enxergar os objetos. Porém, diferentemente do que aconteceu na Física Clássica, Einstein não tentou derrubar o conceito de natureza ondulatória da luz, já muito bem explicado, mas sim descreveu que a luz possuía caráter dual, comportava-se ora como onda, ora como partícula, introduzindo esse novo conceito dentro da Física. A partir de suas ideias, a dualidade onda-partícula passa a ser estudada dentro da Física Moderna, o que fez surgir diversos novos conceitos e revoluções dentro da Física. A luz até então era estudada isoladamente como onda ou como partícula. O novo conceito de dualidade era complicado e demorou a ser amplamente aceito.

Einstein publicou sua teoria do efeito fotoelétrico. Onde cada elétron requer uma energia mínima ϕ para sair do metal sendo denominada função

trabalho. Assim, se fornecermos uma energia $E = hf$ o fotoelétron sairá com uma energia cinética: $E_k = E - \varphi$, E assumindo que a absorção de energia de um elétron se dê através da absorção de um quantum, hf , teremos: $E_k = hf - \varphi$.

4 PRODUTO EDUCACIONAL

A sequência didática foi realizada a partir de discussões inicialmente sobre a natureza da luz, com a retomada dos conceitos vistos no segundo ano sobre óptica geométrica e a natureza ondulatória da luz. Organizamos um debate para verificar se os alunos conheciam a teoria dual da luz e se eles acreditavam que a luz pode ser considerada como partícula. As etapas da sequência didática estão organizadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Sequência didática do produto educacional

ETAPAS	TEMPO ESTIMADO	RECURSOS UTILIZADOS	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS
1 ^a	2 horas/aulas	Pré-teste/ aula expositiva com os vídeos 1, 2, 3, 4 e 5	Aplicar o pré-teste; Apresentar os vídeos; Abrir para discussão após apresentação de cada vídeo.
2 ^a	1 hora/aula	Simuladores/difração e interferência de ondas e efeito fotoelétrico.	Apresentar os simuladores; Leitura dos roteiros; Realizar as atividades dos roteiros.
3 ^a	0,5 hora/aula	Experimento demonstrativo	Montagem do circuito; Leitura do roteiro e coleta de dados.
4 ^a	0,5 hora/aula	Pós teste	Aplicar o pós-teste.

Fonte: Próprio autor.

4.1 PRIMEIRA ETAPA (estimado: 2 hora/aula):

Primeiramente foi realizado um questionário, (ANEXO I na aula 1 da Sequência Didática do produto educacional), referente à aprendizagem de

Física com enfoque no tema dualidade da luz onda-partícula, cujo objetivo era verificar o nível de conhecimentos prévios de cada aluno sobre luz e o seu comportamento dual. Algumas questões sobre o efeito fotoelétrico e a dupla fenda foram abordadas, o que possibilitou, deste modo, a aplicação dos conceitos sobre a luz existente na concepção do aluno.

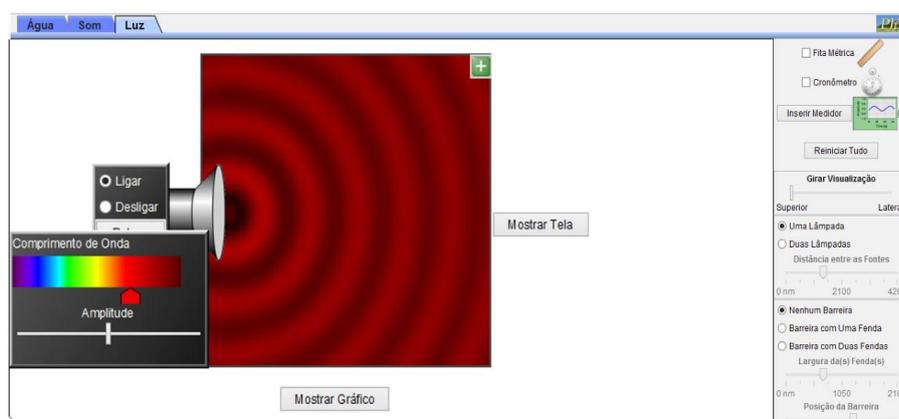
Após o questionário, foi feita a explanação do conteúdo utilizando simultaneamente vídeos e recortes de alguns vídeos (link disponível na aula 2 da Sequência Didática do produto educacional), que pertencem a uma série didática produzida em 1984 para a TV educativa pública da província de Ontário, no Canadá, TVO, sempre relacionado as duas teorias da luz.

4.2 SEGUNDA ETAPA (estimado: 1 hora/aula)

Para tratar da natureza ondulatória da luz foi trabalhado com simuladores e com experimentação que abordam o desvio da Luz. Pudemos comprovar que a reflexão e refração da luz tem comportamento ondulatório, além dos fenômenos de difração e interferência de ondas.

O simulador de difração e interferência Figura 4.1, está disponível no link https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Nele é possível observar como a luz se comporta ao atravessar obstáculos (fendas) e mostrar que esse comportamento só é possível se considerarmos sua natureza ondulatória.

Figura 4.1: Simulador de difração e interferência de ondas.



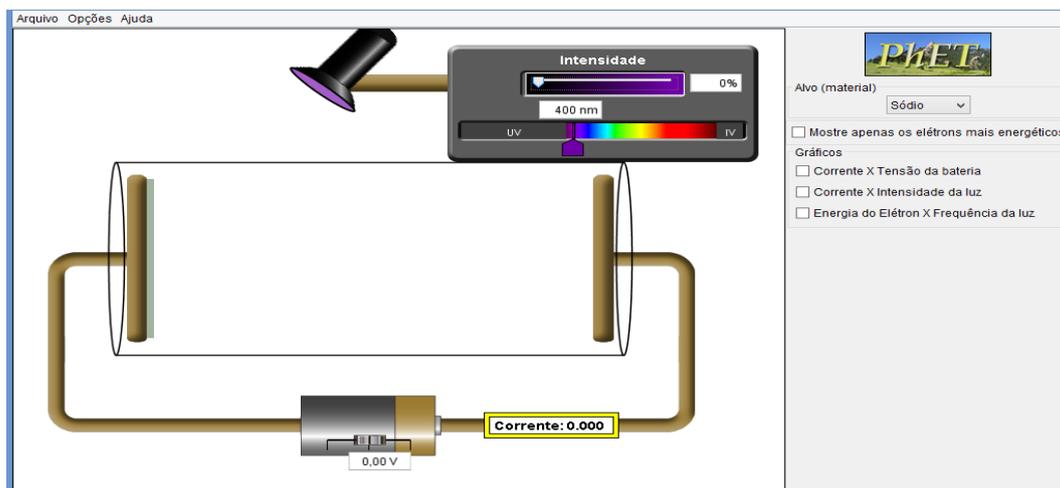
Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-interference/.

Com a utilização de um laser monocromático e fendas, projetadas sobre um anteparo, foi demonstrado o comportamento da luz. Ao mostrar o seu padrão ondulatório de interferência, foi realizado um amplo debate sobre estes conceitos. Após os debates foi questionado: se é tão claro o comportamento ondulatório da luz, como podemos dizer que ela tem comportamento de partícula para alguns fenômenos?

Para tratar da natureza corpuscular da luz, utilizamos o simulador do efeito fotoelétrico, que trabalha com a projeção da luz considerando-a como partículas e seu comportamento na natureza. Estes simuladores podem ser encontrados no site da PhET. A Figura 4.2 apresenta o simulador do efeito fotoelétrico e mostra que, através da emissão de fótons, os elétrons são emitidos da placa de metal.

Como o nosso estudo consiste em explorar os conceitos da natureza da luz, vistos nos vídeos e nos debates, usamos roteiros (ANEXO II e ANEXO III na aula 2 da Sequência Didática do produto educacional) que nortearam os estudos dos alunos nos simuladores para o “Efeito Fotoelétrico” e “Interferência de onda”, o qual pode ser acessado no endereço a seguir:

Figura 4.2: Simulador do Efeito Fotoelétrico, através da emissão de fótons os elétrons são emitidos da placa de metal.



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric/

Essa imagem demonstra o comportamento corpuscular da luz, considerando-a como pacotes discretos de energia, os fótons. Assim, verificou-se que, na quantização de energia, a luz pode ser considerada um pacote de energia quantizada, ou seja, que só apresenta alguns valores e não é contínua.

4.3 TERCEIRA ETAPA (estimado: 0,5 hora/aula):

O experimento do efeito fotoelétrico prova exatamente o comportamento corpuscular da luz, cuja ideia foi desenvolvida por Einstein, estabelecendo seu caráter dual. Neste resgata-se a natureza da luz, a história da Ciência por trás das descobertas até na ideia mais aceita atualmente.

Na realização do experimento demonstrativo, com os grupos dispostos e com um circuito montado, foi explicada a realização da atividade e disponibilizado o relatório para este experimento (ANEXO IV na aula 3 da Sequência Didática do produto educacional).

O efeito fotoelétrico é observado, por exemplo, quando uma superfície metálica ou semicondutora é iluminada com luz em certa faixa de frequências. Neste caso, elétrons ligados aos átomos são promovidos a elétrons livres, capazes de conduzir corrente elétrica. As várias faixas do espectro eletromagnético estão indicadas na Figura 4.3.

Figura 4.3: Cores do espectro visível



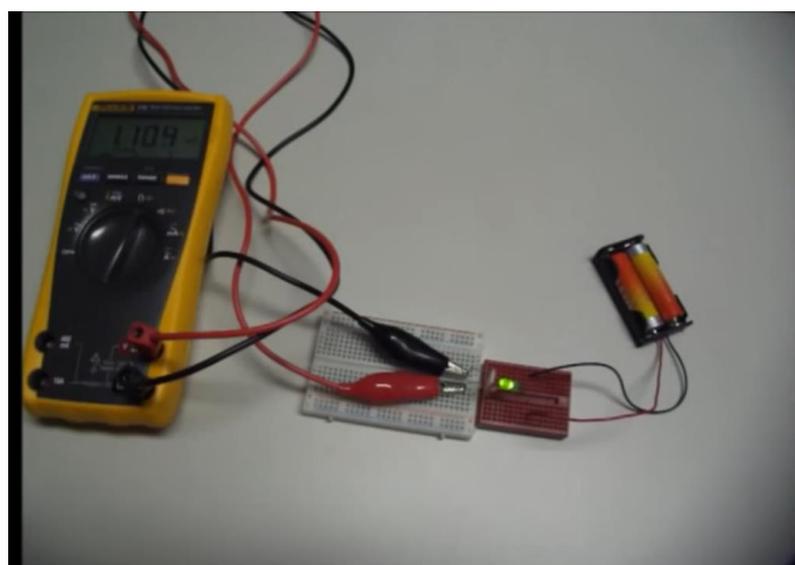
Fonte: <https://pt.slideshare.net/DjalmaPatricio/05-formulao-de-cores/> .

Em escalas de frequência (f) e do comprimento de onda $\lambda=c/f$, no qual c é a velocidade da luz no vácuo, que vale aproximadamente 300.000 km/s. Na Figura 4.3 mostramos o espectro eletromagnético em termos do comprimento de onda λ e da frequência f . Radiação com frequência abaixo de um certo valor mínimo não transforma elétrons ligados em elétrons livres, não importa a

intensidade da luz. Essa intensidade corresponde à potência emitida pela fonte luminosa. A luz, além de apresentar um comportamento ondulatório, pode ser pensada como uma forma de energia transmitida por partículas denominadas fótons. A energia E de cada fóton que constitui um feixe de luz é dada pela relação $E=hf$ ou $E=hc/\lambda$, na qual $h=6,6260693 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ é a constante de Planck, associada aos fenômenos atômicos. Quanto mais intenso for um feixe de luz, maior é o número de fótons nele presente. Quando o feixe incide sobre a superfície, cada elétron preso tem certa probabilidade de interagir com um fóton. Se a energia hf do fóton for maior que a energia de ligação do elétron, denominada função trabalho ϕ , este pode ser libertado, absorvendo toda a energia do fóton incidente. O valor da função trabalho depende do material da superfície.

Assim, para cada material, o efeito fotoelétrico ocorrerá apenas a partir de um valor mínimo da frequência f . De nada adiantará aumentar a intensidade do feixe de luz se a frequência do fóton for menor do que este valor mínimo. Para demonstrar o efeito fotoelétrico, utilizaremos um experimento, Figura 4.4 que objetiva mostrar a sensibilidade de um LDR (Palavra da língua inglesa Light Dependent Resistor) para vários comprimentos de onda da luz incidente (λ).

Figura 4.4: Demonstração do efeito fotoelétrico pela sensibilidade da resistência elétrica de LDR



Fonte: Próprio autor.

Mostra a sensibilidade da resistência elétrica (R) de um dispositivo LDR

para diferentes valores do comprimento de onda λ da luz incidente, cujo funcionamento é baseado no efeito fotoelétrico. Ao ser iluminado, como, por exemplo, quando exposto ao sol, o dispositivo passa a ter uma resistência elétrica menor, uma vez que ele passa a dispor de elétrons livres devido à ação da luz incidente. A resistência do LDR aumenta enormemente na ausência de luz, como, por exemplo, à noite, uma vez que faltam elétrons livres. A sensibilidade máxima da resistência do LDR se encontra na faixa da luz visível (400 a 700 nm). O material base do LDR é o sulfeto de cádmio (CdS), que é sensível à luz na faixa do visível. Para outras aplicações (por exemplo, na faixa do infravermelho, como no caso do controle remoto de televisão), é necessário utilizar outros materiais (por exemplo, o arseneto de gálio). Podemos verificar a aplicação desse princípio no funcionamento do sistema de iluminação pública. Outras aplicações do efeito fotoelétrico são o controle automático de portas de elevadores e o de esteiras de supermercados. Nesses casos, um feixe de luz, ao ser interrompido, aciona um sistema automático que abre a porta do elevador ou movimenta a esteira.

Dentre os fenômenos observados experimentalmente durante o efeito fotoelétrico, é possível destacar as seguintes características:

- a energia dos elétrons emitida pela superfície depende da frequência da radiação incidente, e não da sua intensidade;
- o aumento da intensidade da radiação incidente provoca apenas um aumento do número de elétrons emitidos;
- os elétrons são emitidos instantaneamente pela superfície metálica.

Tais características não puderam ser explicadas de forma satisfatória pela Física Clássica, que defende a natureza ondulatória da luz. Segundo Einstein, a luz e as demais ondas eletromagnéticas são formadas de pequenos pacotes de energia (quanta) chamados de fótons (teoria corpuscular da luz).

4.4 QUARTA ETAPA (estimado: 0,5 hora/aula):

Nesta etapa finalizamos a intervenção com aplicação do pós-teste, (ANEXO I da aula 1 da sequência Didática do produto educacional) composto de 4 perguntas descritivas e 7 perguntas de múltipla escolha. Os alunos

responderam as perguntas, sentindo-se à vontade para esclarecer qualquer dúvida na linguagem ou na interpretação das perguntas.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo apresentamos os dados coletados com os instrumentos descritos na seção 4 e análise de seus resultados. Na seção 5.1 mostramos os dados relacionados ao pré-teste, e na seção 5.2 os debates provenientes dos vídeos. Em seguida, na seção 5.3, expomos os resultados dos relatórios das simulações computacionais. Na seção 5.4 analisamos o desempenho da observação e conclusão dos experimentos demonstrativos. Por fim, na seção 5.5 apresentamos a análise do pós-teste aplicada no final da Sequência Didática.

5.1 ANÁLISE PRÉ-TESTE

O pré-teste (ANEXO I na aula 1 da Sequência Didática do produto educacional) foi aplicado para 33 alunos da 3ª série do Ensino Médio do Colégio João Zacco Paraná Ensino Fundamental, Médio e Profissional, do município de Planalto, Paraná, aplicado em dois momentos, em março de 2017 e em novembro de 2017. A aplicação do pré-teste ocorreu no início da primeira aula da Sequência Didática. A primeira parte do questionário teve como objetivo verificar os conhecimentos dos educandos sobre os conceitos de luz, onda, partícula e o comportamento dual da luz. O questionário é composto de quatro perguntas iniciais de respostas discursivas, que permitem ao aluno expressar livremente os conceitos e, nas perguntas seguintes são objetivas, de modo que o aluno deve assinalar a resposta correta. As respostas são baseadas somente nos conceitos já conhecidos pelos alunos, seja pelo que foi estudado na 2ª Série do Ensino Médio ou por conhecimentos adquiridos no seu dia a dia.

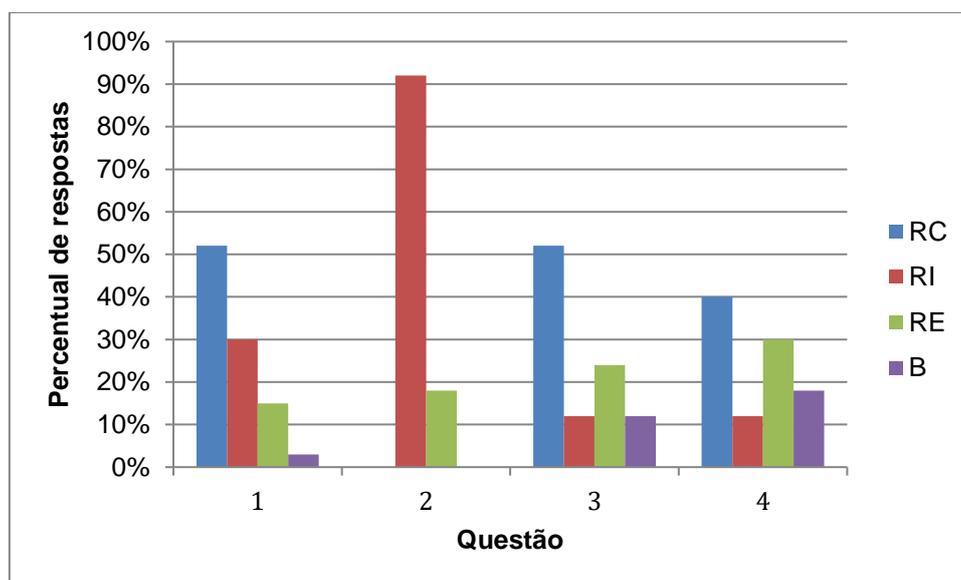
Os critérios definidos e adotados para categorizar as respostas dos educandos estão apresentados na Tabela 5.1.

Quadro 5.1: Categorias elaboradas para análise das respostas apresentadas pelos alunos.

CATEGORIAS	CARACTERÍSTICAS
Resposta Correta (RC)	Apresenta os conceitos, e as aplicações corretamente, respondendo plenamente ao problema proposto.
Resposta Incompleta (RI)	Apresenta o conceito central relacionado à resposta da questão proposta, porém não apresenta todas as proposições necessárias para a resposta completa à situação apresentada.
Resposta Errada (RE)	Demonstra não possuir conhecimento acerca do assunto ou não compreensão do enunciado da questão, apresentando uma resposta que foge completamente a questão proposta.
Branco (B)	Questões não respondidas

Fonte: Próprio autor.

Figura 5.1: Percentual de respostas dos alunos nas questões no pré-teste antes da intervenção. Questão 1: O que é a luz. Questão 2: O que é onda. Questão 3: O que é partícula. Questão 4: O que é o caráter dual da luz.



Fonte: Próprio autor.

A primeira pergunta solicitava que os educandos conceituassem “O que é Luz”. Cerca de 52% dos estudantes conceituaram a luz como sendo uma onda eletromagnética, 30% relacionaram a luz com a energia elétrica, 15% não tinham uma resposta elaborada para conceituar a luz e 3% não responderam a questão.

A segunda pergunta demandava a definição de “O que é onda”. Aproximadamente 92% deram definições incompletas como, por exemplo, que a onda é um sinal que varia de acordo com a sua frequência; ondas são vibrações magnéticas, e que as ondas são oscilações em meios materiais. 18% dos alunos erraram a questão, tendo como respostas, por exemplo, sequência de partículas, corrente de luz e, partícula de uma substância.

A terceira pergunta retoma o conhecimento que os alunos detêm sobre “O que é partícula”. Cerca de 52% dos educandos informaram que partícula é uma porção de dimensões reduzidas da matéria sendo os elétrons, prótons e os nêutrons as partículas fundamentais e mencionam o fóton como partícula constituinte da Luz. Os alunos detêm esse conceito sobre partículas certamente pelo assunto ter sido recentemente estudado no primeiro trimestre da 3ª série. Cerca de 12% deram definições incompletas como, por exemplo, que a partícula é algo muito pequeno menor que o átomo e que são fótons, 24% responderam erradamente como, por exemplo, coisas minúsculas, que é um microrganismo, e 12% não informaram o seu conhecimento sobre “partícula”.

A quarta pergunta solicitava aos alunos seus conhecimentos sobre o “O que é o caráter dual da luz”. Aproximadamente 40% responderam que a luz ora se comporta como onda e ora se comporta como partícula, sendo que a luz e as demais ondas eletromagnéticas, ao se propagarem no espaço, comportam-se como ondas e, ao interagirem com a matéria, comportam-se como partículas, sendo esse conhecimento adquirido no conteúdo de óptica na 2ª série. 12% não responderam corretamente do ponto de vista científico, sendo algumas respostas, o comprimento de onda e a emissão de partículas. 30% responderam de forma errada, por exemplo, que é calor, capacidade de iluminar e refletir e, 18% não expressaram uma resposta.

As próximas perguntas tiveram como objetivo verificar as concepções

prévias dos educandos a respeito da Natureza da Luz e seu comportamento, tendo o efeito fotoelétrico e a fenda dupla como verificador desses conhecimentos. Alguns desses conceitos vistos na 2ª série e outros no primeiro trimestre da 3ª série do Ensino Médio.

A quinta pergunta refere-se ao efeito fotoelétrico num contexto aplicado no funcionamento de um equipamento, 15% dos alunos acertaram a questão. A maioria dos alunos que erraram, assinalaram a alternativa, que relacionava a emissão de elétrons por metais sob a ação da luz, e que tem uma distribuição contínua conteúdos energéticos, os quanta de luz, mais tarde denominados fótons, ficaram confusos em relação a distribuição dos fótons, sendo discreta ou contínua.

A sexta pergunta descreve o experimento do efeito fotoelétrico através da Figura 2, ver no ANEXO I na aula 1 da Sequência Didática do produto educacional, pedindo em qual descoberta o experimento teve uma contribuição. Responderam corretamente 45% dos alunos, os quais indicaram o experimento que contribuiu para a descoberta da dualidade onda-partícula da luz. A maioria dos erros apontaram que na concepção dos alunos a contribuição estava relacionada a emissão contínua de radiação por um corpo aquecido.

A sétima pergunta solicita a descrição do fenômeno do efeito fotoelétrico. Cerca de 63% acertaram a resposta para este questionamento. E a maioria da incidência do erro foi para alternativa que indica, que as correntes elétricas podem emitir luz.

A oitava pergunta considera três afirmações sobre o efeito fotoelétrico, no qual os alunos deveriam dizer quais eram as corretas, apenas 12% dos educandos assinalaram que todas as afirmações corretas. A maioria dos alunos assinalou a alternativa que aponta somente as afirmações I e III como corretas, afirmações que o efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética que emite fotoelétrons somente quando a frequência da incidente nessa superfície fotossensível excede um certo valor mínimo, que depende do metal, no entanto, as três alternativas estavam corretas. Sendo assim, os alunos desconsideraram a alternativa que informa que o efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a

luz.

A nona pergunta solicita aos alunos que assinalem somente as proposições corretas fornecendo uma somatória, a primeira alternativa de valor 1, informa que a luz, em certas interações com a matéria, comporta-se como uma onda eletromagnética, em outras interações ela se comporta como partícula, como os fótons no efeito fotoelétrico. A segunda alternativa de valor 2, informa que, a difração e a interferência são fenômenos que somente podem ser explicados satisfatoriamente por meio do comportamento ondulatório da luz. A terceira alternativa de valor 4, informa que, o efeito fotoelétrico somente pode ser explicado satisfatoriamente quando consideramos a luz formada por partículas, os fótons. A quarta alternativa de valor 8, informa que, o efeito fotoelétrico é consequência do comportamento ondulatório da luz. A quinta alternativa de valor 16 informa que, devido à alta frequência da luz violeta, o “fóton violeta” é mais energético do que o “fóton vermelho”. Sendo que somente 9% dos alunos tiveram êxito na resposta com a somatória de 23, e a maioria que não chegou a esse resultado somou 21, desconsiderando que a difração e a interferência são fenômenos que somente podem ser explicados satisfatoriamente por meio do comportamento ondulatório da luz.

A décima pergunta traz uma tirinha a ser analisada, Figura 4, ANEXO I na aula 1 da Sequência Didática do produto educacional, que faz refletir sobre a dualidade onda-partícula da luz. Cerca de 40% dos alunos acertaram a questão marcando a alternativa que indica a difração e o efeito fotoelétrico como ocorrência da dualidade onda partícula, sendo a resposta mais marcada pelos alunos que erraram a questão foi que a dualidade está relacionada a interferência e a refração.

A décima primeira pergunta aborda o experimento da fenda dupla, afim de demonstrar o comportamento ondulatório da luz, ver Figura 5, ANEXO I na aula 1 da Sequência Didática do produto educacional. Responderam corretamente 21% dos alunos assinalando a alternativa que a Física Moderna estabeleceu a teoria quântica, afirmando que a luz não se propaga de forma contínua, mas em pequenos “grânulos” chamados fótons, ao movimento de cada partícula está associada uma onda, dependendo do fenômeno, prevalecem as características ondulatórias ou corpusculares, daí a dualidade entre partículas e ondas. Por exemplo: quando se faz um feixe de elétrons

atravessar uma fenda, ocorre difração, evidenciando o caráter ondulatório da matéria, quando um feixe de luz de alta frequência incide sobre uma chapa metálica, elétrons podem ser arrancados (efeito fotoelétrico) explicado por Einstein, considerando a luz como um feixe de partículas. Dos alunos que assinalaram errado teve maior incidência na alternativa que considera a luz como um feixe de onda, quando um feixe de luz incide sobre uma placa metálica.

Através desse questionário conhecemos as concepções prévias dos educandos a respeito da Natureza da Luz e seu comportamento. Obtivemos informações relevantes para o entendimento sobre os conhecimentos prévios dos alunos, pois percebemos que os alunos entendiam a luz como uma onda eletromagnética, mas desconheciam o seu caráter dual.

Com esta análise preliminar podemos constatar que os alunos não sabiam que a luz poderia agir ora como partícula ora como onda, tendo assim um caráter dual, podendo ser explicado com o efeito fotoelétrico, que consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica, devido à incidência de radiação eletromagnética sobre esta. Os elétrons emitidos do metal pela radiação incidente são chamados de fotoelétrons. Algumas características do efeito fotoelétrico desconhecidas pelos alunos até então são:

- A energia dos elétrons emitidos pela superfície depende da frequência da radiação incidente, e não da sua intensidade;
- O aumento da intensidade da radiação incidente provoca apenas um aumento do número de elétrons emitidos;
- Os elétrons são emitidos instantaneamente pela superfície metálica ou contornando obstáculos e formando ondas com interferências construtivas e destrutivas.

5.2 ANÁLISE DOS VÍDEOS

Nesta etapa da Sequência Didática, optou-se por assistir a vídeos, (link disponível na aula 2 da Sequência Didática do produto educacional), que retomam conceitos já vistos em séries anteriores, e também abordamos novos conceitos através de debates e questionamentos durante a apresentação dos

vídeos, para que os alunos tivessem apropriação dos conteúdos e possam ter um rendimento significativo ao final da Sequência Didática.

Os educandos assistiram a alguns recortes de vídeos da série didática produzida em 1984 para a TV educativa pública da província de Ontário, no Canadá, TVO. Nesse momento foi solicitado que os alunos tomassem nota de suas dúvidas, e quando necessário, era realizada uma pausa no vídeo e debatidas as suas dúvidas.

O primeiro recorte do vídeo ofereceu uma abordagem histórica sobre a luz e suas suposições, os alunos tinham noção desse conhecimento, visto no início do conteúdo de óptica da 2ª série do Ensino Médio. Eles lembravam de que, historicamente, para os cientistas gregos, o próprio olho era a fonte de luz e nele tinha fogo, acreditavam que dentro dos olhos projetavam raios de luz que tateavam os olhos trazendo consigo informações pelo cérebro que acabavam gerando sensação visual e emitiam uma descarga. E, para outros estudiosos, a luz tinha outras fontes, como por exemplo, o sol e a vela acesa, mas, para todos os cientistas, a luz deslocava-se. Nesta etapa, os alunos questionaram os saberes desses cientistas em relação às teorias que temos hoje.

O segundo recorte do vídeo tratou da luz como partículas. A maioria dos alunos lembrou-se desse conceito visto no conteúdo de óptica na 2ª série, no período em que são estudados os princípios da propagação da luz, em que estuda-se que o modelo de partícula foi o primeiro a explicar diversos comportamentos importantes da luz.

No terceiro vídeo foi abordado o conhecimento da dispersão da luz branca quando da sua passagem por um prisma. Os alunos tinham visto em óptica na 2ª série, no entanto desconheciam sua explicação do surgimento de bandas de cores diferentes em que Newton explica que um feixe de luz era uma mistura de partículas de tamanhos diferentes, e, ao incidir no prisma, esse separa a luz em raios de partículas do mesmo tamanho, fazendo surgir as cores diferentes. Neste momento, os alunos questionaram sobre as cores e puderam entender como ocorre a separação das cores na dispersão da luz branca.

O quarto vídeo, trouxe um recorte que retrata o modelo ondulatório da luz. Ao questionar os alunos sobre essa teoria, estes não tinham conhecimento

sobre o comportamento ondulatório da luz, sendo novidade esse assunto para eles.

O quinto vídeo abordou sobre o quantum, o fóton e a explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico. O vídeo mostra que o efeito fotoelétrico não pode ser explicado pelo modelo ondulatório, o qual, segundo as proposições de Max Planck, o que ocorre é a quantização da luz, ou seja, a energia da onda era distribuída em pequenos pacotes de energia, os fótons. A partir das informações deste vídeo, os alunos tiveram muitas dúvidas e foi necessário um amplo debate e vários questionamentos entre os alunos e o professor, o que favoreceu o esclarecimento das dúvidas.

O sexto vídeo abordou as duas teorias comportamentais da luz, que evidencia e conceitua os fótons. Por meio do debate com os alunos, percebemos que poucos sabiam sobre o assunto, no entanto, a maioria deles, com muita atenção, apresentou suas considerações e puderam concluir os conhecimentos sobre o caráter dual da luz.

5.3 ANÁLISE DA SIMULAÇÃO DIGITAL

As simulações computacionais utilizadas na Sequência Didática, ANEXO II e ANEXO III na aula 3 da Sequência Didática do produto educacional, tiveram como objetivo investigar a potencialidade da ferramenta; com isso foi possível proporcionar uma interação entre os alunos, pois observamos a motivação deles em compreender os fenômenos físicos por meio das simulações apresentadas.

O primeiro experimento virtual consiste em atingir uma placa metálica com um feixe de luz. Há diferentes metais a serem escolhidos para a placa, como por exemplo: Zinco, Cobre, Platina, Cálcio e Magnésio. As características da luz, como intensidade e comprimento de onda para as cores do espectro visível, também podem ser manipuladas.

Para realizar esta atividade, os alunos foram divididos em seis grupos. Após a organização dos grupos, foi iniciada a atividade com a entrega dos roteiros (ANEXO II e ANEXO III na aula 3 da Sequência Didática do produto educacional). O professor forneceu as orientações para o trabalho, pedia para os alunos fazerem a leitura dos roteiros e disponibilizou-se para o

esclarecimento das dúvidas no decorrer da atividade.

A primeira atividade era completar uma tabela com alguns valores de comprimento de onda, mover o cursor do espectro de cores e anotar os respectivos valores. O professor passou pelos grupos para certificar-se de que todos já haviam iniciado a simulação. Para responder as perguntas, alguns integrantes dos grupos leram em voz alta o que se pedia, enquanto outros manipulavam o software, numa divisão de tarefas, de modo que ficou estabelecido o papel de cada membro no desenvolvimento da atividade.

Observamos que, para cada questionamento, havia uma breve discussão entre os alunos na tentativa de chegar a um consenso. Algumas vezes, principalmente quando não existia uma segurança nas respostas, os alunos chamavam o professor, na tentativa de obter a solução. O papel do professor neste momento não foi o de fornecer as respostas, e sim, o de indicar claramente o que as perguntas propunham, dando a possibilidade de todos os parceiros discutirem as ideias e tentarem responder as perguntas, uma das condições essenciais para que a interação social se desenvolvesse adequadamente.

Após entenderem que deveriam seguir passo a passo o roteiro, as discussões entre os pares ficaram mais evidentes. Outra constatação importante foi o envolvimento e o interesse dos alunos em realizar a simulação computacional.

As questões buscavam saber quais as conclusões dos educandos em relação à Natureza da Luz após a realização das simulações computacionais. A primeira questão para iniciar as atividades solicitava o comprimento de onda para a cor definida na tabela, todos os grupos realizaram a atividade com facilidade.

A segunda questão abordava a frequência para cada comprimento de onda escolhido. Com a equação $E = h \cdot f$ fornecida, os alunos não encontraram dificuldades em realizar a questão. E, para a próxima questão foi utilizado a frequência calculada anteriormente para encontrar a energia de cada uma delas.

Nas questões seguintes, os educandos estavam mais confiantes e atentos ao roteiro, sempre debatendo e solicitando apoio ao professor. Todos os grupos obtiveram um resultado satisfatório em suas respostas.

Com o segundo experimento virtual, é possível observar como a luz se comporta ao atravessar obstáculos (fendas); mostra que este comportamento só é possível se considerarmos sua natureza ondulatória.

A primeira proposição dessa atividade refere-se à análise do movimento do som e da luz, das ondas na água. Os grupos concluíram que todos os movimentos analisados podem ser representados por uma função senoidal. Em seguida, os alunos usaram espaçamentos diferentes entre as fontes e as fendas, perceberam a mudança de padrão de interferência e encontraram os pontos de interferência construtiva e destrutiva.

Ficou evidente que o grande número de acertos nas questões propostas estavam correlacionados às atividades em grupo. Assim, o aluno que tem dúvida em algumas questões tende a optar pela resposta daquele colega que ele julga mais capaz no seu meio. Quando não tem esse destaque, há um maior debate para se chegar a um acordo.

Em todos os momentos, no entanto, o professor estava à disposição dos alunos para esclarecimentos de dúvidas que surgissem e, sempre que solicitado, o professor interveio com questionamentos e direcionamento dos debates, para que os alunos chegassem a uma conclusão, para evitar influenciar nas decisões do grupo e motivá-los a buscarem suas próprias soluções.

5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL

A realização, em grupos, de um experimento demonstrativo (ANEXO IV na aula 4 da Sequência Didática do produto educacional), foi proposta como última atividade antes do pós-teste. A turma foi dividida em grupos com a mesma formação utilizada na atividade das simulações computacionais.

O experimento teve por objetivo mostrar a sensibilidade da resistência elétrica (R) de um dispositivo LDR⁷ (Resistência Dependente da Luz) para diferentes comprimentos de onda da luz incidente (λ).

Inicialmente, com os grupos já dispostos e com um circuito montado, o professor explicou como a atividade seria realizada. A atividade foi executada

⁷ LDR Palavra da língua inglesa Light Dependent Resistor

por todos os grupos, os quais anotaram os dados da resistência elétrica para cada LED⁸ (Diodo Emissor de Luz) e depois compararam os resultados das resistências elétricas para cada LED de comprimento de onda (cor), pois registra-se uma resistência elétrica diferente para cada LED.

O LDR, ao ser iluminado, como por exemplo, quando exposto ao sol, o dispositivo passa a ter uma resistência elétrica menor, uma vez que ele passa a dispor de elétrons livres devido à ação da luz incidente. A resistência do LDR aumenta enormemente na ausência de luz, como, por exemplo, à noite, uma vez que faltam elétrons livres. A sensibilidade máxima da resistência do LDR se encontra na faixa da luz visível (400 a 700 nm).

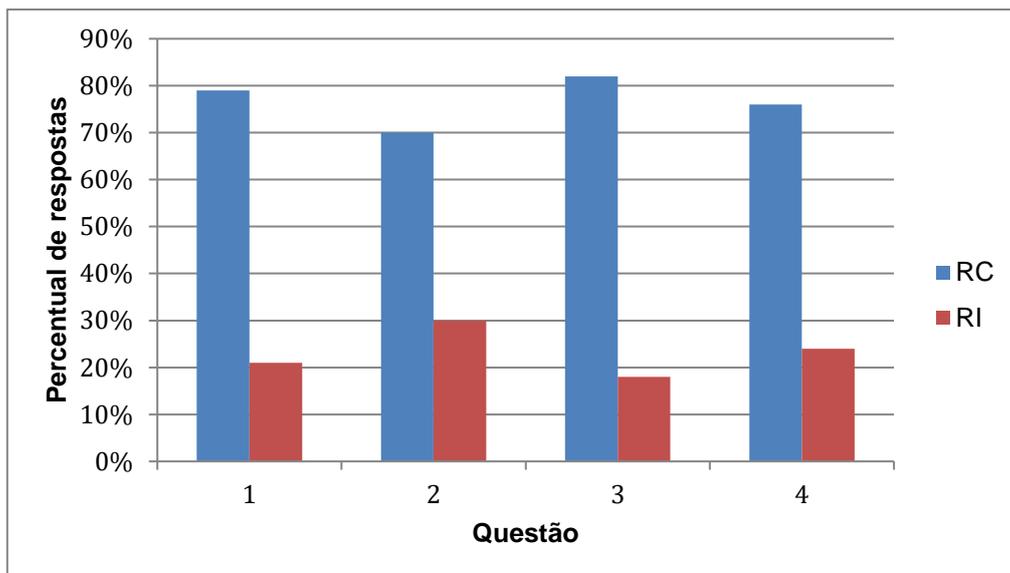
Com o experimento, os alunos verificaram a resistência para o LED de cor vermelho de comprimento de onda de aproximadamente 625-740 nm, o LED de cor verde de comprimento de onda de aproximadamente 500-565 nm, e o LED de cor azul de comprimento de onda de aproximadamente 440-485 nm. E na sequência compararam os valores e realizaram suas conclusões.

5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PÓS-TESTE

Ao final da Sequência Didática foi reaplicado o mesmo teste (ANEXO I na aula 1 da Sequência Didática do produto educacional) para investigar a evolução da compreensão dos estudantes acerca dos conceitos estudados. Esse instrumento foi importante para a verificação individual da eficácia das práticas metodológicas adotadas durante a intervenção pedagógica proposta na Sequência Didática. Foram aplicadas as mesmas questões do pré-teste de modo que os estudantes pudessem demonstrar os conhecimentos adquiridos ao longo da Sequência Didática.

Figura 5.2: Percentual de acertos dos alunos das questões depois da intervenção. Questão 1: O que é a luz. Questão 2: O que é onda. Questão 3: O que é partícula. Questão 4: O que é o caráter dual da luz.

⁸ LED Palavra da língua inglesa Light Emitting Diode



Fonte: Próprio autor.

Observamos um aumento no percentual de todas as respostas após a intervenção da Sequência Didática, não houve respostas erradas (RE) e questões não respondidas (B). Com a implantação da Sequência Didática, houve uma significativa alteração no interesse dos alunos pelo conhecimento, o que refletiu positivamente nos resultados do pós-teste.

A primeira questão teve um aumento de 27% no percentual de respostas corretas, no conceito da luz como uma onda eletromagnética.

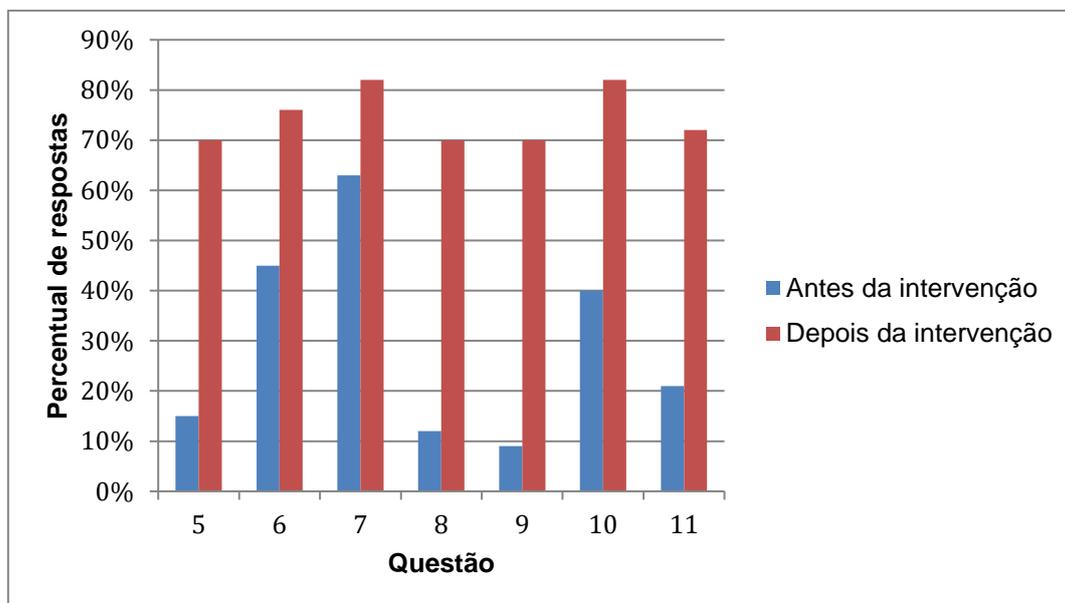
A segunda questão solicitava a definição de onda. Esta questão, no pré-teste não obteve resposta correta (RC), após a intervenção da Sequência Didática, 70% dos alunos responderam que ondas são oscilações ou pulso energético que se propaga no espaço ou através de um meio (líquido, sólido ou gasoso), verificou-se, com este índice, a apropriação do conteúdo explorado.

A terceira questão obteve um aumento positivo de 30% no percentual de acerto na resposta, sobre o conhecimento que os alunos adquiriram através a Sequência Didática, com o tema partícula. Os alunos informaram que partícula é uma porção de dimensões reduzidas da matéria sendo os elétrons, prótons e os nêutrons as partículas fundamentais e mencionam o fóton como partícula constituinte da luz.

A quarta questão solicitava aos alunos seus conhecimentos sobre o caráter dual da luz. Houve um aumento considerável de 36% de acertos da resposta de que a luz ora se comporta como onda e ora se comporta como

partícula, sendo que a luz e as demais ondas eletromagnéticas, ao se propagarem no espaço, comportam-se como ondas e, ao interagirem com a matéria, comportam-se como partículas.

Figura 5.3: Percentual de acertos dos alunos das questões 5 à 11 antes e depois da intervenção.



Fonte: Próprio autor.

A quinta questão referiu-se ao efeito fotoelétrico num contexto aplicado no funcionamento de um equipamento, após a intervenção da Sequência Didática, houve um aumento significativo na resposta correta, atingiu percentual 55% de respostas corretas.

A sexta pergunta descreveu o experimento do efeito fotoelétrico através da Figura 2 (ANEXO I na aula 1 da Sequência Didática do produto educacional), o qual pedia para qual descoberta o experimento teve uma contribuição. O percentual de respostas corretas obteve um aumento de 31%, ao afirmar que contribuiu para a descoberta da dualidade onda-partícula da luz.

A sétima questão pediu para descreverem o fenômeno do efeito fotoelétrico. Nessa questão houve um aumento, mas não muito expressivo. No entanto, houve um percentual de 63% de respostas corretas antes da intervenção e, percebemos que a maioria dos alunos tinha uma definição correta para o fenômeno do efeito fotoelétrico.

A oitava questão considerava três afirmações sobre o efeito fotoelétrico,

no qual os alunos deveriam dizer quais eram as corretas, obtiveram positivamente um aumento de 58% no percentual de respostas corretas.

A nona questão solicitava aos alunos que assinalassem somente as proposições corretas, referente ao comportamento dual da luz e aplicações de como a luz pode ter ora o comportamento ondulatório e ora como partícula. Observamos um acréscimo de 61% no acerto da resposta.

A décima questão trazia uma tirinha a ser analisada (Figura 4, ANEXO I na aula 1 da Sequência Didática do produto educacional), que fazia refletir sobre a dualidade onda-partícula da luz. Houve um aumento significativo de 42% no percentual de respostas.

A décima primeira questão abordou o experimento da fenda dupla, a fim de demonstrar o comportamento ondulatório da luz (Figura 5, ANEXO I na aula 1 da Sequência Didática do produto educacional). Houve um aumento de 51% de acertos nas respostas corretas.

5.6 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos, comprovamos que a maioria dos alunos realizou as atividades propostas com dedicação e atenção. Houve interpretação dos enunciados das perguntas e de cada situação vivenciada durante a Sequência Didática. Os erros cometidos mostram que, para compreensão do conteúdo, é muito importante e necessária a resolução de mais situações -problema que envolvam as equações do efeito fotoelétrico.

O desenvolvimento de atividades por meio de situações - problema na Física demanda tempo e muita atenção. Todas as atividades da Sequência Didática tiveram como objetivo fazer com que o aluno, ao compreender a resolução das atividades, pudesse elaborar estruturas de pensamento, a fim de que, com o tempo, tenha autonomia na resolução de problemas e nas atividades nos moldes apresentados na Sequência Didática.

Sabemos que todo processo de ensino - aprendizagem de qualquer conteúdo é um procedimento longo e que começa quando é apresentado de forma instigante e provocadora, e tem êxito quando, de fato, o aluno constrói estruturas intelectuais para alcançar a aprendizagem.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização deste trabalho, foi possível demonstrar a importância de se trabalhar com estratégias de ensino aprendizagem diferenciadas dentro da Física, a fim de tornar a aprendizagem significativa aos estudantes. Existem grandes defasagens no ensino da Física Moderna e, por muitas vezes, este conteúdo é abstrato para ser compreendido somente por exposição oral e, com a utilização de simuladores e experimentações, o professor consegue provocar o aluno para que vá além do lápis e do caderno, que possa explorar os conceitos de forma abrangente e, por meio de debates, analisar as concepções apresentadas através de representações que tragam sentido ao estudo.

Quando o docente trabalha com estratégias didáticas que buscam diminuir as defasagens no ensino, desperta o envolvimento entre estudantes e conceitos, pode minimizar as questões de aprendizagem fragmentadas. Ao planejar a aula, o professor precisa pensar de que maneira seria melhor mediar esse conhecimento ao aluno, qual seria a estratégia adequada.

O tema dualidade da luz justifica-se no trabalho por ter como objetivo discutir, na sala de aula, como, historicamente, ocorrem essas mudanças de concepções; por meio da Sequência Didática, o professor tem a oportunidade de mediar e interceder para que o aluno alcance um aprendizado significativo.

A Física Moderna enfrenta grandes barreiras quando se trata de sua inserção no Ensino Básico. Os próprios professores não conseguem se atualizar dos métodos de estudo diante das transformações da Física. Para a melhoria da qualidade do ensino é necessário mudar todo o sistema educacional, a começar por investir no professor; proporcionar a ele uma atualização curricular, ofertada através de cursos, oficinas, debates, sugestão de estratégias que podem ser desenvolvidas em sala de aula, para então promover a superação do distanciamento entre a teoria clássica e moderna.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTHURY, Luiz Henrique Martins; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. **A cosmologia moderna à luz dos elementos da epistemologia de Lakatos**: recepção de um texto para graduandos em física. *Revista Brasileira de Ensino de Física* [online], 2013, v. 35, n. 2, p. 1-14.

AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Paralelo Editora, 2003.

AUSUBEL, David P. **Revista PEC**, Curitiba, 2(1), 37-42. 2001.

AUSUBEL, David P. **The psychology of meaningful verbal learning**. New York, Grune and Stratton. 1963, p. 58.

BEHRENS, Marilda Aparecida. **O paradigma emergente e a prática pedagógica**. Curitiba: Champagnat, 2000.

BONADIMAN, Helio; NONENMACHER, Sandra E. B. O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. 2007. v. 24, n. 2, p. 194-223.

BROCKINGTON, Guilherme, & PIETROCOLA, Mauricio. **Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna?** *Investigações em Ensino de Ciências*, 2005, p. 389.

BRUNER, Jerome. **The Process of Education**. Cambridge. Harvard University Press, 1960.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; PIFFER, Anderson; NAKAMURA, Patrícia. O uso da Internet na compreensão de temas de Física Moderna para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 23, n. 1, p. 108-112, 2001.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. C. **Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no Ensino Médio**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v. 18, n. 3, p. 298-316, 2001.

DOMINGUINI, Lucas. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 34, n. 2, p. 2502.1-2502.7, 2012.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 9.ed. Editora Campus, 1994.

GARDNER, Howard. **Estruturas da mente: a Teoria das Múltiplas Inteligências**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

LA ROSA, Jorge. **Psicologia e educação: O significado do aprender** Porto Alegre: EDiPUCR, 2003.

LAKOMY, A.M. **Teorias cognitivas da aprendizagem**. 2.ed.rev. Curitiba: Ibpex, 2008.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, Marco Antônio; VALADARES, J. A.; CABALLERO, C.; TEODORO, V.D. **Teoria da Aprendizagem significativa**. Contributos do III Encontro Internacional sobre aprendizagem significativa. Peniche, 2000.

MOREIRA, Marco Antonio; CABALLERO, M.C. e RODRÍGUEZ, M.L. (orgs.). Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España, 1997, pp. 19-44. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>> Acesso 10.junho.2016.

MORAIS, Angelita; GUERRA, Andreia. História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 35, n. 1, p. 1502.1-1502.9, 2013.

PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. **A relatividade einsteniana: uma abordagem conceitual e epistemológica**. UFSC, Florianópolis, 2009.

PELIZZARI, Adriana et al. **Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel**. (2002).

PIRES, Marcelo Antonio; VEIT, Eliane Angela. Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 28, n. 2, p. 241-248, 2006.

RIBEIRO JUNIOR, Luiz A.; CUNHA, Marcelo F.; LARANJEIRAS, Cássio C. Simulação de experimentos históricos no ensino de física: uma abordagem computacional das dimensões histórica e empírica da ciência na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 34, n. 4, p. 4602.1-4602.10, 2012.

ROCHA, José Fernando M. (Org.), et al. **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da ciência: a ciência moderna**. 2. ed. Brasília: FUNAG, 2012.

SANCHES, Monica Bordim. **A física moderna e contemporânea no ensino médio**: Qual sua presença em sala de aula? 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática. Maringá, 2006.

SANTOS, Antônio Carlos. F.; NUNES, Leandro N. Utilizando analogias para a visualização de equipotenciais com uma planilha de dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 35, n. 2, p. 2401.1-2401.9, 2013.

SAUERWEIN, Inés Prieto Schmidt; DELIZOICOV, Demétrio. Formação continuada de professores de física do ensino médio: concepções de formadores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 439-477, 2008.

TERRAZZAN, Eduardo. A., SILVA, Andréia A. da, ZAMBON, Luciana. B. **Ensino de Física Centrado na Resolução de Problemas**: Uma Proposta Baseada no uso de Recursos Diversos. In: XI EPEF ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA – EPEF, 2008, Curitiba. Promovido pela Sociedade Brasileira de Física, Curitiba: UFTPR, 2008.

TIPLER, P., MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. 6ª ed. vol. 2. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2009.

WALLON, H. (1968) **A evolução psicológica da criança**. Lisboa: Edições 70.

WEISZ, Telma; SANCHEZ, Ana. **O diálogo entre o ensino e a aprendizagem**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2006.

ZABALA, Antoni. **A Prática Educativa**: Como ensinar; tradução Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998, 224p.

ZAMBON, Luciana Bagolin; TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. Analogias produzidas por alunos do ensino médio em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 35, n. 1, p. 1505.1-1505.9, 2013.

8 ANEXOS: PRODUTO EDUCACIONAL

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
CAMPUS MEDIANEIRA**

ROSEMERI INES KUNRATH

**ESTRATÉGIAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM NA COMPREENSÃO DA
DUALIDADE DA LUZ**

**MEDIANEIRA
2018**

PRODUTO EDUCACIONAL:
ESTRATÉGIAS DE ENSINO-APRENDIZAGEM NA COMPREENSÃO DA
DUALIDADE DA LUZ

Rosemeri Ines Kunrath

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

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Camila Tonezer

MEDIANEIRA
Maio 2018

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aplicação do Efeito Fotoelétrico	60
Figura 2: Experiência para o Efeito Fotoelétrico.....	61
Figura 3: Difração da Luz	61
Figura 4: Dualidade onda-partícula	62
Figura 5: Feixe de elétrons passando por fendas	63
Figura 6: Série didática produzida em 1984 para a TV educativa pública da província de Ontário, no Canadá, TVO	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de comprimento de onda, frequência e energia da radiação.....	70
Tabela 2: Valores de comprimento de onda e da corrente elétrica para a frequência do infravermelho	71
Tabela 3: Valores de comprimento de onda e da corrente elétrica para a frequência do infravermelho para o potencial de 8,00 volt	72
Tabela 4 : Valores da resistência elétrica para três comprimentos de onda	75

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	54
Lista de Tabelas.....	55
Apresentação.....	57
Aula 1 da Sequência Didática.....	58
Aula 2 da Sequência Didática.....	64
Aula 3 da Sequência Didática.....	67
Roteiro do simulador para Interferência de Onda.....	68
Roteiro do simulador para o Efeito Fotoelétrico.....	70
Aula 4 da Sequência Didática.....	73
Relatório para o experimento demonstrativo.....	75
Referências Bibliográficas.....	77

APRESENTAÇÃO

Neste manual o educador encontrará as instruções necessárias para fazer uso da sequência didática Compreensão da Dualidade da Luz. A sequência didática é o produto educacional apresentada como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira no curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), ofertado pela Sociedade Brasileira de Física.

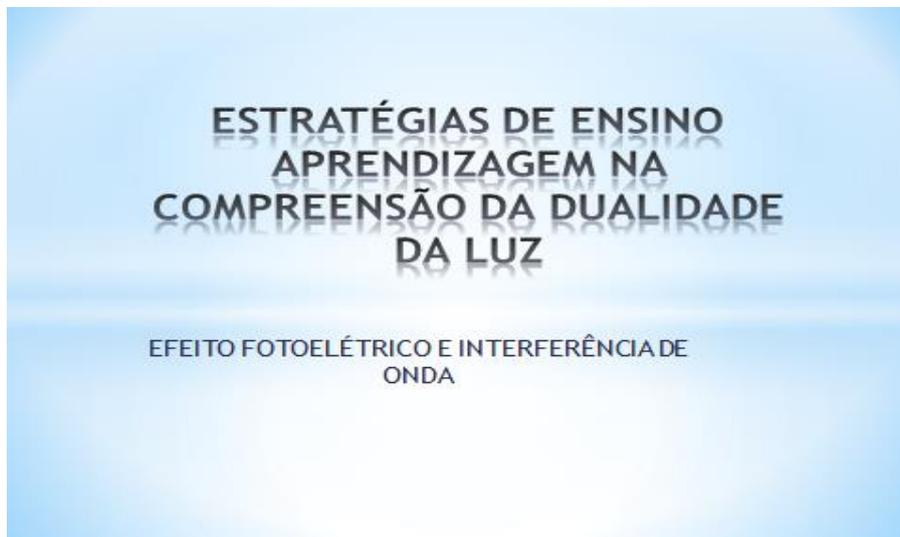
O objetivo desta sequência didática é apresentar uma proposta que, através do estudo da Natureza da Luz, buscar introduzir de forma concreta no Ensino Médio, a Física Moderna para compreender fenômenos da interação entre radiação e a matéria e fazer a ligação com os conceitos clássicos de Óptica e Ondulatória. A proposta desta intervenção está pautada na teoria de aprendizagem por David Ausubel, a Aprendizagem Significativa, como afirma Moreira (2000, p. 5), “o aprendiz não é um receptor passivo. Ele deve fazer uso dos significados que já internalizou, de maneira substantiva e não arbitrária, para poder captar os significados dos materiais educativos”.

A sequência didática está dividida em 4 aulas de 50 minutos cada, apresentadas através de projeção de slides. A sequência didática foi elaborada para ser aplicada na 3ª série do Ensino Médio, no início do 3º trimestre. As aulas foram muito dialógicas, com intensa participação dos educandos.

Esperamos, com essa sequência didática, auxiliar os professores que desejam aplicar temas referente à introdução da Física Quântica e Física Moderna.

A seguir estará disponível as aulas da sequência didática distribuídas por *slides*, e todas as orientações para o seu desenvolvimento.

1. Aula 1 da Sequência Didática



Fonte: Próprio autor.

Inicialmente, explique o objetivo da aula; enfatize a duração da sequência didática, relate as atividades que serão realizadas em todo o período. Crie uma boa expectativa para as atividades futuras.

Pergunte para os alunos: o que é a luz? Após isso, passe para o próximo slide.



Fonte: Próprio autor.

Inicie a primeira aula com as perguntas: como ocorre o funcionamento das portas de shoppings que se abrem sozinhas? Como um sistema de iluminação pode acender e apagar sozinho? A pergunta busca explicitar o primeiro entendimento que o aluno possui sobre o funcionamento dessas tecnologias e a partir daí, criar a necessidade de estudos para compreender a demanda colocada. Após a pergunta, escute as respostas dos alunos e inicie um diálogo.



Fonte: Próprio autor.

Será realizado um questionário, referente a aprendizagem de Física com enfoque no tema dualidade da luz onda-partícula. Tendo como objetivo verificar o nível de conhecimentos prévios de cada aluno sobre luz e o seu comportamento dual. Algumas questões sobre o efeito fotoelétrico e a dupla fenda serão abordadas, o que possibilita, desse modo, a aplicação dos conceitos existentes na concepção do aluno sobre a luz.

ANEXO I

QUESTIONAMENTOS PARA OS ALUNOS DO TERCEIRO ANO DO ENSINO MÉDIO REFERENTE A APRENDIZAGEM DE FÍSICA COM ENFOQUE NO TEMA DUALIDADE DA LUZ ONDA-PARTÍCULA.

1. Descreva, de acordo com seu conhecimento, o que é luz?
2. Descreva, de acordo com seu conhecimento, o que é uma onda?
3. Descreva, de acordo com seu conhecimento, o que é uma partícula?
4. Descreva, de acordo com seu conhecimento, o que é o caráter dual da luz?

5. Selecione a alternativa que apresenta as palavras que completam corretamente as lacunas, pela ordem, no seguinte texto relacionado com o efeito fotoelétrico.

O efeito fotoelétrico, isto é, a emissão de _____ por metais sob a ação da luz, é um experimento dentro de um contexto físico extremamente rico, incluindo a oportunidade de pensar sobre o funcionamento do equipamento que leva à evidência experimental relacionada com a emissão e a energia dessas partículas, bem como a oportunidade de entender a inadequacidade da visão clássica do fenômeno. Em 1905, ao analisar esse efeito, Einstein fez a suposição revolucionária de que a luz, até então considerada como um fenômeno ondulatório, poderia também ser concebida como constituída por conteúdos energéticos que obedecem a uma distribuição _____, os quanta de luz, mais tarde denominados _____ .

- a) fótons – contínua – fótons
- b) fótons – contínua – elétrons
- c) elétrons – contínua – fótons
- d) elétrons – discreta – elétrons
- e) elétrons – discreta – fótons

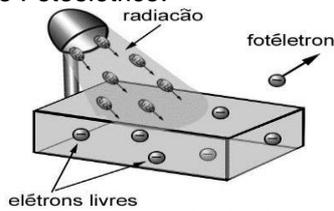
Figura 1: Aplicação do Efeito Fotoelétrico.



Fonte: <http://fisicaevestibular.com.br/novo/fisica-moderna/efeito-fotoeletrico-2/>

6. A figura abaixo descreve o efeito fotoelétrico.

Figura 2: Experiência para o Efeito Fotoelétrico.



Fonte: <https://alemdainercia.wordpress.com/2016/02/23/fisica-quantica-efeito-fotoeletrico/>

Esse experimento contribuiu para a descoberta da:

- a) dualidade onda-partícula da luz.
- b) energia de ionização dos metais.
- c) emissão contínua de radiação por um corpo aquecido.
- d) descrição da ligação química entre elementos metálicos.

7. O efeito fotoelétrico é um fenômeno pelo qual:

Figura 3: Difração da Luz.



Fonte:

<http://fisicaevestibular.com.br/novo/fisica-moderna/efeito-fotoeletrico-2>

- a) elétrons são arrancados de certas superfícies quando há incidência de luz sobre elas.
- b) as lâmpadas incandescentes comuns emitem um brilho forte.
- c) as correntes elétricas podem emitir luz.
- d) as correntes elétricas podem ser fotografadas.
- e) a fissão nuclear pode ser explicada.

8. 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 corpuscular 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 II.
- c) apenas I e II.
- d) apenas I e III.
- e) I, II e III.

9. Assinale a(s) proposição(ões) correta(s):

01) a luz, em certas interações com a matéria, comporta-se como uma onda eletromagnética; em outras interações ela se comporta como partícula, como os fótons no efeito fotoelétrico.

02) a difração e a interferência são fenômenos que somente podem ser explicados satisfatoriamente por meio do comportamento ondulatório da luz.

04) o efeito fotoelétrico somente pode ser explicado satisfatoriamente quando consideramos a luz formada por partículas, os fótons.

08) o efeito fotoelétrico é consequência do comportamento ondulatório da luz.

16) devido à alta frequência da luz violeta, o “fóton violeta” é mais energético do que o “fóton vermelho”.

Dê como resposta a soma das alternativas corretas.

10. Leia a tirinha a seguir.

Figura 4: Dualidade onda-partícula.



Fonte: <http://fisicaevestibular.com.br/novo/fisica-moderna/efeito-fotoeletrico-2>

Para validar a proposta do analista, ocorrência da dualidade onda-partícula, o senhor Fóton deve ser capaz de sofrer

- a) interferência e refração.
- b) interferência e polarização.
- c) difração e efeito fotoelétrico.
- d) efeitos fotoelétrico e Compton.

11. Entre as inovações da Física que surgiram no início do século XX, uma foi o estabelecimento da teoria _____, que procurou explicar o surpreendente resultado apresentado pela radiação e pela matéria conhecido como dualidade entre _____ e ondas. Assim, quando se faz um feixe de elétrons passar por uma fenda de largura micrométrica, o efeito observado é o comportamento _____ da matéria, e quando fazemos um feixe de luz incidir sobre uma placa metálica, o efeito observado pode ser explicado considerando a luz como um feixe de _____ .

Figura 5: Feixe de elétrons passando por fendas.



Fonte: <http://fisicaevestibular.com.br/novo/fisica-moderna/efeito-fotoeletrico-2>

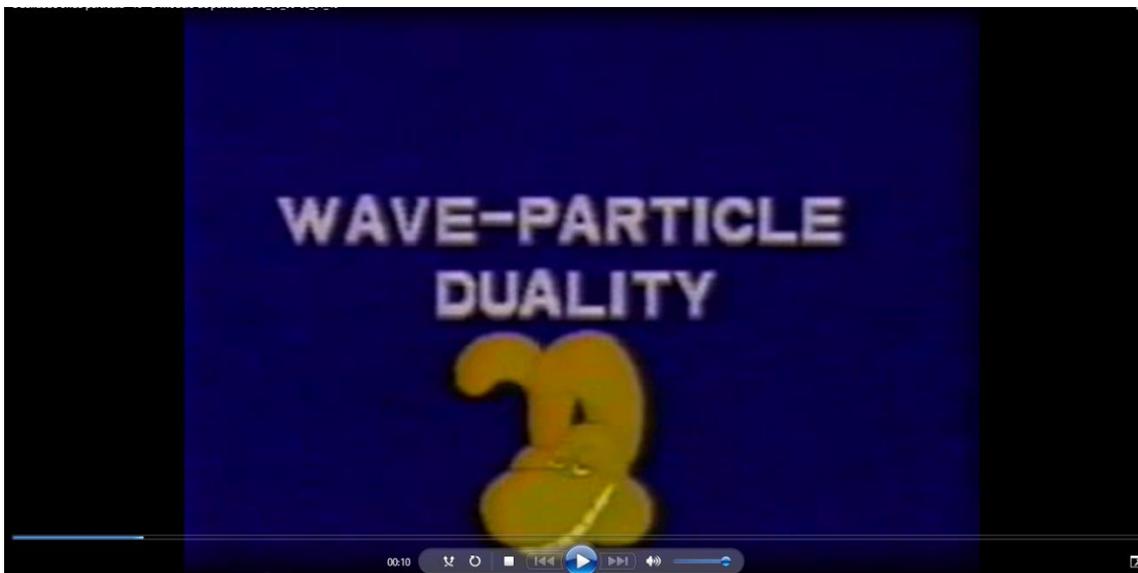
Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta de palavras para o preenchimento das lacunas nas frases acima.

- a) Relativística – partículas – ondulatório – partículas.
- b) Atomística – radiação – rígido – ondas.
- c) Quântica – partículas – ondulatório – partículas.
- d) Relativística – radiação – caótico – ondas.
- e) Quântica – partículas – ondulatório – ondas.

2. Aula 2 da Sequência Didática

Após o questionário, fazer a explanação do conteúdo utilizando simultaneamente vídeos e recortes de alguns vídeos, Figura 6, obtidos a partir de uma série didática produzida em 1984 para a TV educativa pública da província de Ontário, no Canadá, TVO, no qual, relacionam as teorias corpuscular e ondularia.

Figura 6: Série didática produzida em 1984 para a TV educativa pública da província de Ontário, no Canadá, TVO



Fonte: <https://youtu.be/0Zrxulhsak/>

O modelo de Partícula

1. Vídeo 1: <https://youtu.be/47PaHlIG0Dw/>, tempo de 1 minuto e 40 segundos;
2. Vídeo 2: <https://youtu.be/k5vo3HzAjM>, tempo de 1 minuto;
3. Vídeo 3: <https://youtu.be/cNiKdp2EyKE/>, tempo de 1 minuto e 35 segundos.

LUZ COMO PARTÍCULA

Questionamento para o primeiro vídeo: Quais as conclusões para a existência da luz?

Questionamento para o segundo vídeo: Qual a suposição de Newton para as partículas de luz na sua trajetória?

Questionamento para o terceiro vídeo: Segundo Newton, qual era a explicação para a separação da luz branca em raio de luz de cores diferentes?

Fonte: Próprio autor.

Após assistir aos vídeos, fazer os questionamentos acima e debater com os alunos as perguntas que surgem no decorrer dos vídeos.

O modelo ondulatório

Vídeo 4: <https://youtu.be/4aG6Lf4X6i0/>, tempo de 2 minutos e 50 segundos

LUZ COMO ONDA

Questionamento para o quarto vídeo: Ondas necessitam de meios para se propagar. Em que meio as ondas de luz se propagavam?

Questionamento para o quarto vídeo: O modelo de onda para a luz explicava com mais facilidade a difração. Mais o que é a difração?

Fonte: Próprio autor.

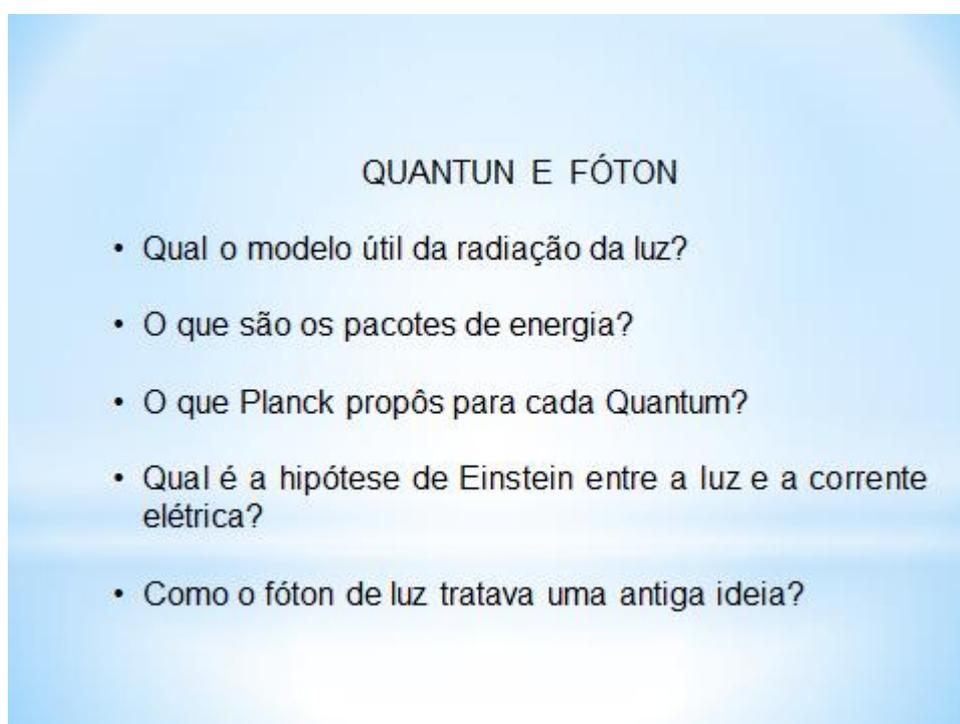
Após assistir aos vídeos, fazer os questionamentos acima, e debater com os alunos as perguntas que surgem no decorrer dos vídeos.

Quantum

Vídeo 5: <https://youtu.be/0Zrxulhtsak/> tempo de 9 minutos e 34 segundos

Fótons

Vídeo 6: <https://www.youtube.com/watch?v=gMbBk6tvEEs/>, tempo de 9 minutos e 34 segundos



Fonte: Próprio autor.

3. Aula 3 da Sequência Didática

Para tratar da natureza ondulatória da luz, serão trabalhados os simuladores e as experimentações que abordam o desvio da Luz, para oportunizar o estudo da reflexão e da refração da luz, que tem comportamento ondulatório, além dos fenômenos de difração e interferência de ondas.



Fonte: Próprio autor.

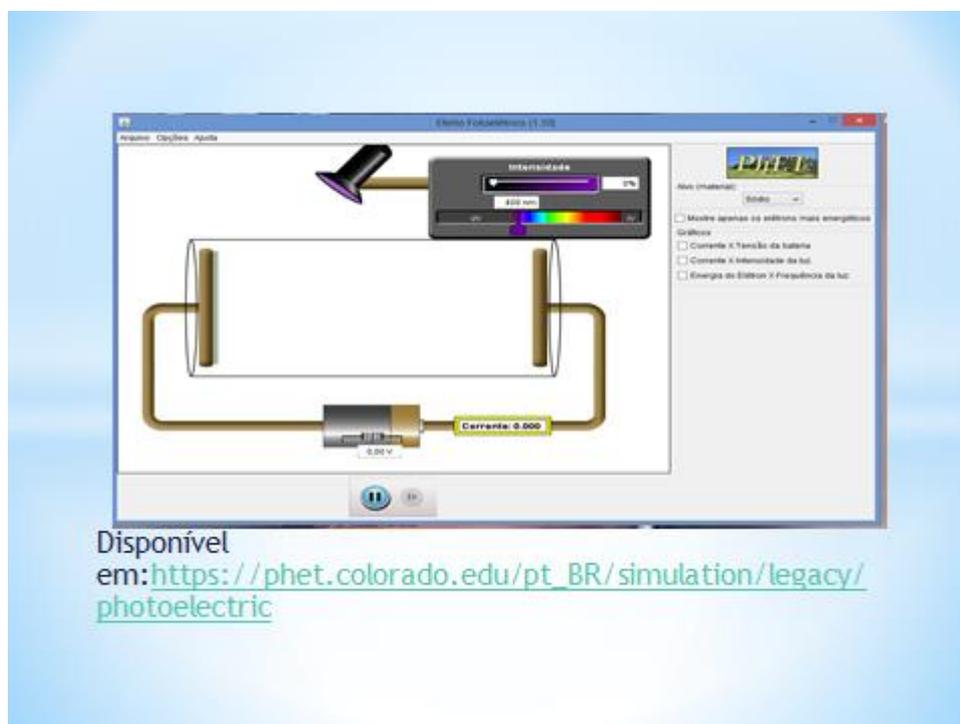
Para realizar esta atividade, os alunos devem ser divididos em 6 grupos. Após a organização dos grupos, é iniciada a atividade com a entrega dos roteiros. O professor fornece as orientações para o trabalho pedindo para os educando fazer a leitura dos roteiros e disponibiliza-se para o esclarecimento das dúvidas no decorrer da atividade. O tempo estimado para essa atividade é de uma aula de 50 minutos.

ANEXO II

3.1 ROTEIRO DO SIMULADOR PARA INTERFERÊNCIA DE ONDA

- Acompanhar as ondas da água, do som e da luz se moverem e ver como elas estão relacionadas. Tudo pode ser representado por uma função de onda senoidal.
- Usar fontes com diferentes espaçamentos e ver a mudança no padrão de interferência.
- Encontrar pontos de interferência construtiva e destrutiva.
- Colocar uma barreira para ver como as ondas se movem através de uma ou duas fendas. Que tipo de padrão as fendas criam? Como você pode mudar esse padrão?
- Relate suas observações neste simulador norteando-se pelas questões acima.

Para tratar da natureza corpuscular da luz, utilize o simulador do efeito fotoelétrico, que trabalha com a projeção da luz considerando-a como partículas e seu comportamento na natureza.



Fonte: Próprio autor.

Para realizar esta atividade, os alunos devem ser divididos em 6 grupos. Após a organização dos grupos, iniciam-se a atividade com a entrega dos roteiros (roteiro II). O professor fornece as orientações para o trabalho pedindo para os educando fazerem a leitura dos roteiros e de dispõe ao esclarecimento das dúvidas no decorrer da atividade. O tempo estimado para essa atividade é de uma aula de 50 minutos.

ANEXO III

3.2 ROTEIRO DO SIMULADOR PARA O EFEITO FOTOELÉTRICO

Através do estudo da física ondulatória, sabemos que a velocidade de uma onda é dada pela equação $c = \lambda \cdot f$ onde λ é o comprimento de onda e f a sua frequência. No vácuo, a luz se propaga com velocidade constante e igual a $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. De acordo com as proposições de Einstein, a luz é composta por pequenos pacotes de energia, os fótons. A energia de cada pacote é dada por $E = hf$, onde $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ é a constante de Planck e f a frequência. Lembrando que no sistema de unidades, a energia é dada em joule (**J**). No entanto, no estudo de alguns tópicos da física, a energia pode ainda ser expressa em elétron-volt (**eV**). Um elétron-volt é quantidade de energia adquirida por um elétron, no vácuo, ao ser acelerado por uma diferença de potencial elétrico de um volt.

a) Complete a tabela abaixo, usando o simulador, com alguns valores de comprimento de onda, de acordo com as cores, movendo o cursor do espectro de cores. (Lembre-se que 1nm é igual a 10^{-9} m).

b)

Tabela 1: Valores de comprimento de onda, frequência e energia da radiação.

	Cor da luz	Comprimento de Onda (10^{-9}m)	Frequência (10^{14} Hz)	Energia (J)	Energia (eV)
1	Vermelho				
2	Amarelo				
3	Verde				
4	Azul				
5	Violeta				
6	UV				

Fonte: Próprio autor.

b) Usando a equação $f = c/\lambda$, complete a tabela com as frequências para cada comprimento de onda que você escolheu.

c) Usando a equação $E = h \cdot f$, complete a tabela com as energias usando cada frequência calculada. (Use: $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$).

d) De acordo com os valores do comprimento de onda e frequências da tabela 1, estabeleça uma relação entre eles.

e) Sabendo que $1\text{eV}=1,6\cdot 10^{-19}\text{J}$, complete a tabela com os valores de energia, em joules e elétron-volt, para cada valor de frequência encontrada na tabela 1.

f) Selecione o Sódio em Alvo (material) depois marque: “Mostre apenas os elétrons mais energéticos”. Aumente o potencial para o seu valor máximo (8,00V).

Quando um material condutor é submetido a uma diferença de potencial verifica-se a presença de uma corrente elétrica. Com as configurações feitas no simulador, não é percebida uma corrente elétrica. Faça algumas considerações para o não surgimento da corrente elétrica.

g) No caso anterior não consideramos a interação da radiação (luz) com o material. Aumente a intensidade da Luz para 100%. Em seguida coloque o cursor do comprimento de onda na posição IV (infravermelho). Configure a fonte para um potencial nulo (0,00V). Agora, mova o cursor do comprimento de onda, lentamente para a esquerda, varrendo todo o espectro disponível para a radiação.

1. Observe o ponto em que o catodo (Sódio) começa a emitir elétrons, anote o valor do comprimento de onda e o valor da corrente elétrica. (Essa emissão de elétrons pelo Sódio é o efeito fotoelétrico, que ocorreu pela interação da Luz com o material).

Tabela 2: Valores de comprimento de onda e da corrente elétrica para a frequência do infravermelho.

	Comprimento de onda (nm)	Corrente elétrica (A)
Infravermelho		

Fonte: Próprio autor.

2. Repita o item anterior para o potencial máximo (8,00V). Houve mudança na intensidade da corrente elétrica? Comente sua resposta.

Tabela 3: Valores de comprimento de onda e da corrente elétrica para a frequência do infravermelho para o potencial de 8,00 Volt

	Comprimento de onda (nm)	Corrente elétrica (A)
Infravermelho		

Fonte: Próprio autor.

3. Como se pode explicar o fato do material ejetar elétrons a partir de um comprimento de onda específico?

4. Escolha um valor de comprimento de onda onde se perceba o Efeito Fotoelétrico. Faça suas considerações para o que se observa, quando se altera a intensidade da luz (entre 0% e 100%).

5. Qual é a diferença entre as situações, de potencial nulo e potencial máximo, em relação ao movimento dos elétrons? A energia cinética dos elétrons é diferente em cada caso?

6. Qual é a relação entre o comprimento de onda da radiação e a energia cinética dos elétrons? Altere o valor do comprimento de onda para verificar. Relate suas conclusões.

h) Repetir as questões anteriores considerando que o material do catodo pode ser alterado, por exemplo: Zinco, Cobre, Platina, Cálcio e Magnésio. Observe que todos são metais, então qual seria a diferença em cada caso?

4. Aula 4 da Sequência Didática

O experimento do efeito fotoelétrico prova exatamente o comportamento corpuscular da luz, cuja ideia foi desenvolvida por Einstein, que estabeleceu seu caráter dual. Neste, resgata-se a natureza da luz, a história da Ciência por trás das descobertas até se chegar à ideia mais aceita atualmente.

O efeito fotoelétrico é observado, por exemplo, quando uma superfície metálica ou semicondutora é iluminada com luz em certa faixa de frequências. Neste caso, elétrons ligados aos átomos são promovidos a elétrons livres, capazes de conduzir corrente elétrica.

EXPERIMENTO DEMONSTRATIVO

- O funcionamento desse dispositivo é baseado no efeito fotoelétrico.
- Ao ser iluminado, como, por exemplo, quando exposto ao sol, o dispositivo passa a ter uma resistência elétrica menor, uma vez que ele passa a dispor de elétrons livres devido à ação da luz incidente.
- A resistência do LDR aumenta enormemente na ausência de luz, como, por exemplo, à noite, uma vez que faltam elétrons livres. A sensibilidade máxima da resistência do LDR se encontra na faixa da luz visível (400 a 700 nm).
- O material base do LDR é o sulfeto de cádmio (CdS), que é sensível à luz na faixa do visível.

Fonte: Próprio autor.

EXPERIMENTO DEMONSTRATIVO

- Para outras aplicações (por exemplo, na faixa do infravermelho, como no caso do controle remoto de televisão), é necessário utilizar outros materiais (por exemplo, o arseneto de gálio).
- Podemos verificar a aplicação desse princípio no funcionamento do sistema de iluminação pública.
- Outras aplicações do efeito fotoelétrico são o controle automático de portas de elevadores e o de esteiras de supermercados. Nesses casos, um feixe de luz, ao ser interrompido, aciona um sistema automático que abre a porta do elevador ou movimenta a esteira

Fonte: Próprio autor.

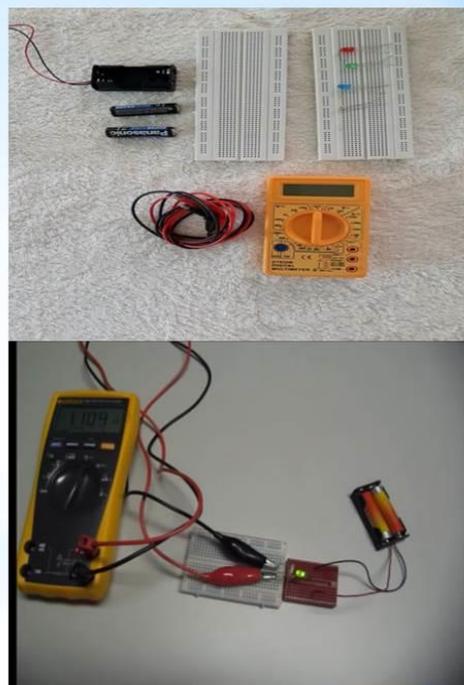
A realização de um experimento demonstrativo, em grupo, proposta como última atividade antes do pós-teste. A turma pode ser dividida em grupos com a mesma formação utilizada na atividade das simulações computacionais.

Inicialmente, com os grupos já dispostos e com um circuito montado, o professor explica como a atividade será realizada.

EXPERIMENTO DEMONSTRATIVO

Material utilizado:

- 1 Suporte de pilhas;
- 2 Pilhas AA
- 2 placas de proboard
- 1 LDR
- 3 LED(vermelho, azul e verde)
- 1 multímetro



Fonte: Próprio autor.

ANEXO IV

4.1 RELATÓRIO DO EXPERIMENTO DEMONSTRATIVO

O experimento tem por objetivo mostrar a sensibilidade da resistência elétrica (R) de um dispositivo LDR9 (Resistência Dependente da Luz) para diferentes comprimentos de onda da luz incidente (λ).

1. Com o circuito já montado e o multímetro configurado para fazer a leitura da resistência, podemos iniciar os registros das resistências elétricas para cada LED¹⁰.

Tabela 4: Valores da resistência elétrica para três comprimentos de onda.

Cor da Luz	Comprimento de Onda (10^{-9}m)	Resistência Elétrica (Ω)
Vermelho	625-740	
Verde	500-565	
Azul	440-485	

Fonte: Próprio autor.

2. Faça um comparativo como os valores dos comprimentos de onda para cada cor de LED. Qual cor que tem o comprimento de onda maior? E o menor?
3. Com os valores registrados das resistências elétricas de cada LED, qual tem o maior valor? E o menor?
4. Analisando os comprimentos de onda de cada cor com suas resistências elétricas que conclusão podemos chegar se compararmos com os valores das outras cores?

⁹ LDR Palavra da língua inglesa Light Dependent Resistor

¹⁰ LED Palavra da língua inglesa Light Emitting Diode



Fonte: Próprio autor.

4.2 PÓS-TESTE

Ao final da Sequência Didática, reaplicar o mesmo teste, para investigar a evolução da compreensão dos estudantes acerca dos conceitos estudados. Esse instrumento é importante para a verificação individual da eficácia das práticas metodológicas adotadas durante a intervenção pedagógica proposta na sequência didática. Aplicar as mesmas questões do pré-teste de modo que os estudantes possam demonstrar os conhecimentos adquiridos ao longo da sequência didática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Paralelo Editora, 2003.

CAVALCANTE, Marisa Almeida; TAVOLARO, Cristiane R. C. **Uma oficina de Física Moderna que vise a sua inserção no Ensino Médio**. Caderno Catarinense de Ensino de Física. v. 18, n. 3, p. 298-316, 2001.

DOMINGUINI, Lucas. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online], v. 34, n. 2, p. 2502.1-2502.7, 2012.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica: Átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 9.ed. Editora Campus, 1994.

ROCHA, José Fernando M. (Org), et al. **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

Modelo de Partícula. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=rqwKPJ3wlul/>.

Modelo Ondulatório. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=MnpWyXa5l6Y/>.

Quantum. Disponível em: <https://youtu.be/0Zrxulhtsak/> .

Fótons. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=gMbBk6tvEEs/>.

MOREIRA, Marco Antônio; VALADARES, J. A.; CABALLERO, C.; TEODORO, V.D. **Teoria da Aprendizagem significativa**. Contributos do III Encontro Internacional sobre aprendizagem significativa. Peniche, 2000

TIPLER, P., MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. 6ª ed. vol. 2. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2009.