

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

Josélia Margarida de Paiva Bechtluft

Luzes e cores: uma proposta pedagógica para o ensino de Física

Juiz de Fora
2020

Josélia Margarida de Paiva Bechtluft

Luzes e cores: uma proposta pedagógica para o ensino de Física

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 – UFJF / IF Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Paulo Henrique Dias Menezes

Juiz de Fora
2020

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Bechtluft, Josélia Margarida de Paiva.

Luzes e cores : uma proposta pedagógica para o ensino de Física / Josélia Margarida de Paiva Bechtluft. -- 2020.
116 f.

Orientador: Paulo Henrique Dias Menezes

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2020.

1. Ensino de Física. 2. Luz e cor. 3. Aprendizagem significativa. Pensamento de ordem superior. I. Menezes, Paulo Henrique Dias, orient. II. Título.

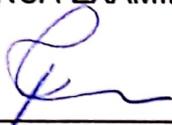
Josélia Margarida de Paiva Bechtluft

Luzes e cores: uma proposta pedagógica para o ensino de Física

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 24 – UFJF/IF Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 07 de agosto de 2020

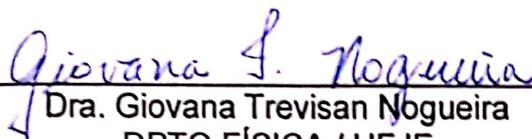
BANCA EXAMINADORA



Dr. Paulo Henrique Dias Menezes - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora



Dra. Clarice Parreira Senra
FACED / UFJF



Dra. Giovana Trevisan Nogueira
DPTO FÍSICA / UFJF

Dedico este trabalho aos meus pais José (*in memoria*) e Maria, meu marido e meu filho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter concedido a graça da vida.

Agradeço aos meus pais José (*in memoria*) e Maria pelo exemplo de vida e de conduta pessoal, aos meus irmãos que contribuíram para minha educação. A minha sogra, aos tios do meu marido por ficarem com meu filho para que pudesse concluir este mestrado.

Ao meu marido Leonardo pela dedicação e compreensão nos momentos de ausência e pelo amor dedicado a mim. Ao meu filho amado Felipe um presente de Deus na minha vida, que eu sirva de exemplo para sua caminhada.

Ao meu orientador Paulo Henrique Dias Menezes, pela dedicação, amizade e disponibilidade aliada a uma orientação técnica, pelo pronto atendimento ao convite e presteza.

Ao professor Gabriel Dias de Carvalho Júnior que iniciou as orientações deste trabalho.

Aos professores do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Aos colaboradores do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física por estarem sempre dispostos a ajudar.

Aos alunos do 2º ano do Ensino Médio Curso que se envolveram numa forma de educação, participando ativamente de um experimento para um aprendizado eficiente.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre. (Paulo Freire)

RESUMO

Ensinar física sempre foi um desafio, principalmente quando se trata de alunos do ensino médio. Esta dissertação surgiu do questionamento de como transformar uma aula de física para alunos secundaristas numa atividade mais prazerosa, mais interativa e de fácil compreensão. Para isso, elaboramos uma sequência didática, baseada nos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa, para abordar o conteúdo de luz e cor. A sequência foi aplicada em uma turma do 2º ano do ensino médio a partir de duas questões norteadoras que inquiriam os alunos sobre o porquê de enxergarmos os objetos e o porquê de enxergarmos as cores. A partir dessas questões, foram desenvolvidas uma série de atividades, baseadas em experimentos com materiais de baixo custo, para levar os alunos ao desenvolvimento da compreensão da relação entre luz e cor no seu dia a dia. A análise envolveu dados quantitativos e qualitativos, coletados por meio de questionários com questões fechadas e abertas, além das observações realizadas em de sala de aula. Os resultados indicam que houve uma apropriação significativa dos conteúdos de ensino por parte dos alunos e que também foram estimuladas habilidades que podem contribuir para o desenvolvimento de um pensamento de ordem superior.

Palavras-chave: Ensino de Física. Luz e Cor. Aprendizagem Significativa. Pensamento de ordem superior.

ABSTRACT

Teaching Physics has always been a challenge, particularly when dealing with high school students. This thesis arose from the questioning of how to transform a physics class for high school students into a more enjoyable, more interactive, and easier to understand activity. For that, we elaborated a didactic sequence, based on the principles of the Theory of Meaningful Learning, to address the content of light and color. The sequence was applied to a class of the second year of high school. It was based on two guiding questions that asked students about why we see objects and colors. From these questions, a series of activities were developed, grounded in experiments using low-cost materials, to lead students to develop an understanding of the relationship between light and color in their daily lives. The analysis involved quantitative and qualitative data, collected through questionnaires with closed and open questions, in addition to observations made in the classroom. The results indicate that there was a more significant appropriation of the teaching content by the students and that skills were also stimulated that can contribute to the development of higher order thinking.

Keywords: Physics teaching. Light and color. Meaningful Learning. Higher order thinking.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa.....	12
1.2 Objetivos.....	12
1.2.1 Objetivo geral	12
1.2.2 Objetivos específicos	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 A Importância da Problematização no Ensino de Física.....	15
2.2 Concepções sobre o ensino de Luz e Cor.....	20
2.3 O Ensino de Ótica.....	26
2.2.1 O ensino de ótica no Nível Médio.....	26
2.2.2 A ótica no ensino superior.....	36
2.3 A Visão e as Cores	41
3 METODOLOGIA.....	45
3.1 Participantes	45
3.2 Procedimentos.....	46
4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE LUZ E COR	49
4.1 Descrição da aplicação da Sequência Didática aula por aula	52
4.2.1 Descrição da aula 1 –Levantamento do conhecimento prévio dos alunos sobre luz e cor.....	53
4.2.2 Descrição da aula 2 – Classificação dos meios de propagação da luz.....	58
4.2.3 Descrição da Aula 3 - Construção do disco de Newton (Parte 1)	60
4.2.4 Descrição da aula 4 - Construção do disco de Newton (Parte 2).....	61
4.2.5 Descrição da aula 5 - Decomposição da luz branca através do prisma	63
4.2.6 Descrição da aula 6 - Caixa de cores: problematizando as cores dos objetos.....	65
4.2.7 Descrição da aula 7 - Tornando um objeto invisível.....	68
5 ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	70
5.1 Análise da atividade de classificação dos meios de propagação da luz.....	72
5.2 Análise da atividade de construção do Disco de Newton	73
5.3 Análise da atividade de dispersão da luz branca.....	75
5.4 Análise da atividade da Caixa de Cores	76
5.5 Análise da atividade do objeto invisível	77
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	78
CONSIDERAÇÕES FINAIS	81

REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICE A – Produto Educacional.....	88
APÊNDICE B – Questionário.....	115
APÊNDICE C – Molde do disco de newton.....	116

1 INTRODUÇÃO

Uma das explicações para a dificuldade do ensino de física para alunos secundaristas está na sua difícil compreensão. Por este motivo, em geral, os alunos apresentam um distanciamento maior das disciplinas da área de exatas, vistas como muito difíceis e cheias de cálculos, o que uma história pregressa de maus resultados só ajuda a reforçar.

Sou educadora desde 2008, sempre lecionando em escolas públicas disciplinas da área de exatas, como matemática e física. Durante o meu percurso pedagógico, verifiquei que há uma grande dificuldade de entendimento dessas disciplinas. Por isso, procurei me aperfeiçoar para melhorar minha prática pedagógica no âmbito dessas áreas. Minha formação inicial é em Ciências com habilitação plena em Matemática, posteriormente fiz uma pós-graduação em Matemática Financeira pela Universidade Federal de Juiz de Fora, seguida de outra pós-graduação em Metodologia do Ensino da Física pela Universidade do Rio de Janeiro.

Entendo que, para se obter um conhecimento adequado sobre determinado assunto, é necessária a realização de pesquisas que direcionem as ações e comprovem ou não os resultados esperados. Nos meus estudos, deparei-me com algumas pesquisas que indicavam possibilidades metodológicas que poderiam ajudar a aperfeiçoar a minha prática pedagógica.

Estudos como o de Sá, Kasseboehmer e Queiroz (2014) me mostraram que o ensino de ciências apresenta uma forma de argumentação que permite organizar as ações de ensino e aprendizagem em torno de três ações estruturadoras: a previsão, a observação e a explicação (POE). Essas ações estimulam a participação ativa dos alunos por meio do incentivo a investigação. Nesse sentido, o aluno é estimulado a fazer previsões acerca do assunto de estudo, elaborando justificativas conforme seus conhecimentos prévios (SASAKI; JESUS, 2017); a observar e acompanhar o processo, por meio de um olhar atento, semelhante ao dos pesquisadores, gerando assim uma representação do conhecimento em formatos determinados, que servirão como lembrete para a construção de bons argumentos (SÁ; KASSEBOEHMER; QUEIROZ, 2014); e a elaborar explicações que contemplem as diferenças entre o previsto e o observado, caso existam (SASAKI; JESUS, 2017). Santos e Sasaki (2015, p.1) consideram que

esse procedimento está baseado no conflito cognitivo, no qual, “para cada assunto abordado, os alunos são estimulados a expor seus conhecimentos e posteriormente, confrontá-los com vídeos de experimentos e simulações”.

Outras reflexões, a partir de estudos sobre a epistemologia da Ciência, ajudaram a conhecer as principais teorias do conhecimento. No contexto da teoria das ecologias conceituais, fortemente inspirada pela Teoria Evolucionista de Charles Darwin, do filósofo britânico Stephen Toulmin, o fundamento para o estudo da Ciência indica que os alunos possuem uma carga de informações prévias, a partir da sua vivência e história de vida, que pode e deve ser acionada no processo de ensino e aprendizagem de Física (ARIZA; HARRES, 2000).

Para Toulmin (1977), os conceitos são a fonte da compreensão humana, caracterizando-se como sistemas ou populações conceituais empregadas pela coletividade de usuários e construídos através de processos sócio-históricos. Assim, o indivíduo passará a entendê-los com propriedade se considerar os fatores sócio-histórico-culturais nos quais está inserido (ARIZA; HARRES, 2000).

A partir dessas reflexões passamos a pensar em um modo de organizar o ensino que pudesse incorporar as ideias relacionadas a estruturação do conhecimento científico. Isso nos levou à construção de uma Sequência Didática sobre o tema luz e cor que procurou aliar os princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (MOREIRA, 1995, 2011) à teoria educacional do pensar crítico de Lipman (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018) em torno de uma proposta de ensino que pudesse estimular o processo de aprendizagem dos alunos.

A escolha do tema luz e cor ocorreu por se tratar de um conhecimento que está diretamente ligado ao cotidiano dos alunos. Além disso, a física do ensino médio pode representar a última oportunidade para o aluno aprender sobre a relação entre luz e cor, porque esse tema, em geral, não é abordado no ensino superior. Conforme observado por Pinho (2012, p. 7), “o aluno desde as séries iniciais tem contato com giz, lápis de cor e aulas de educação artística. Desse modo, seus conceitos de cores estão baseados nestas experiências”. No entanto, quando chegam ao Ensino Médio, o professor de Física apresenta os conceitos de cor associado à luz de forma totalmente diferente daquela que os alunos tiveram contato durante sua jornada estudantil.

No geral, ao tentar se apropriar dessa nova visão de cor como um efeito da luz que incide sobre os objetos, os alunos ficam perdidos, principalmente porque

os novos conceitos apresentados pelo professor são norteados por formulações matemáticas e diagramas muito distantes das concepções prévias que eles possuem. “Temas como cor-luz, cor-pigmento, índice de refração etc., são temas que geram grandes dúvidas e até interpretações equivocadas que não seguem os modelos físicos” (PINHO, 2012, p. 7).

1.1 Justificativa

As escolas onde já lecionei nunca ofereceram qualquer tipo de suporte paradidático que pudesse subsidiar uma aula mais interativa. Não havia laboratórios e nem material para experimentos. Dessa forma, a prática pedagógica era limitada ao tradicional método das aulas expositivas monológicas, sem interação com os alunos, acompanhadas de livros didáticos pouco atrativos. Mesmo quando conseguia criar um ambiente descontraído e leve em sala-de-aula os resultados eram sempre desmotivadores. Pouco ensino e muito pouca aprendizagem.

A partir dessa reflexão, surgiu o seguinte questionamento: como transformar uma aula de Física para alunos secundaristas numa atividade mais prazerosa, mais interativa e de fácil compreensão? Mesmo antes de ingressar no mestrado já me fazia este questionamento, justamente porque não estava satisfeita com a minha prática, e a experiência como professora de escola pública tornava a tarefa de ensinar ainda mais desafiadora.

Em seguida tem-se novas inquietações apresentadas no texto introdutório deste trabalho, optei por desenvolver uma sequência didática para o ensino dos conteúdos de Luz e Cor aplicada na turma do segundo ano do Ensino Médio da rede regular, que pudesse tornar a experiência de ensino mais agradável para o professor e o aprendizado significativa para os alunos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo foi desenvolver uma sequência didática que venha permitir aos alunos compreender, de forma significativa, os fenômenos que envolvem a relação entre luz e cor no ensino de Física.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, pretende-se:

- Desenvolver e testar uma sequência didática sobre o tema luz e cor para alunos do 2º ano do Ensino Médio a partir de uma situação problema que permita explorar de forma significativa alguns fenômenos relacionados a este tema.
- Avaliar a compreensão dos alunos sobre o tema proposto, para validar a sequência desenvolvida.
- Verificar, experimentar e relatar o processo de aplicação da sequência didática de modo a gerar um produto educacional que possa ser apropriado por outros professores da educação básica.

A metodologia aplicada envolveu dados quantitativos e qualitativos, coletados por meio de questionários com questões fechadas e abertas, além das observações realizadas em de sala de aula.

A dissertação está dividida em seis capítulos. O capítulo 1 é dedicado à Introdução do trabalho e traz aspectos relacionados ao conteúdo abordado e à pesquisa realizada, junto com a justificativa e os objetivos pretendidos. No capítulo 2 é dedicado à revisão de literatura, que inclui referências às teorias Ausubel e Lipman, à importância da problematização no ensino de física, às concepções de luz e cor, ao ensino de ótica no nível médio e superior, e às relações entre a visão e as cores.

No terceiro capítulo encontra-se a metodologia aplicada para a pesquisa documental e para o estudo de caso realizado. Além da metodologia utilizada para a construção do produto e do estudo em questão. O quarto capítulo é dedicado ao relato da aplicação do produto. Traz a descrição de todas as atividades desenvolvidas na sequência didática. O quinto capítulo apresenta a análise das atividades desenvolvidas, tendo como foco o propósito de possibilitar aos estudantes a compreensão dos fenômenos envolvendo luz e cor no ensino de física.

O sexto capítulo traz a discussão dos resultados, em que se verificou a efetividade da sequência didática em possibilitar o desenvolvimento das habilidades necessárias para a construção do pensamento de ordem superior. Por fim, apresentamos as considerações finais, seguidas das referências utilizadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Com as mudanças ocorridas nas últimas décadas, incluindo o avanço das tecnologias de comunicação e informação, o aluno pode iniciar a exposição às ideias científicas muito antes do que era antigamente. Mesmo assim, a escola não vem acompanhando de forma satisfatória essa evolução, insistindo em um processo passivo de apropriação do conhecimento que ainda enxerga o aluno como receptor dos ensinamentos do professor.

No caso do ensino de Física, entende-se que a construção de um novo paradigma passa diretamente pela visão de ciência que o professor possui, construída com formulações e teorias estanques, que não se comunicam nem divergem umas das outras, ou como um ente dinâmico, que se inter-relaciona com outras ciências, dentro da qual os conceitos são sempre a priori, e que a visão de mundo dos alunos, suas experiências e costumes são dados relevantes na produção de resultados, esperados ou inesperados (ARIZA; HARRES, 2000). Toulmin (1977) destaca a importância dessa visão pessoal na compreensão dos conceitos científicos e das ações que eles desempenham na sociedade.

[...] o pensamento é individual, porém os conceitos são compartilhados entre as classes de usuários. Em razão disso, a compreensão do que são conceitos e a da ação desempenhada por eles exige considerar a relação fundamental entre pensamentos e crenças pessoais e a herança linguística e conceitual coletiva (TOULMIN, 1977, p. 78).

Tendo, portanto, como premissa a revisão da prática educativa, por meio da pesquisa de modelos e conceitos que ajudem o educando a construir sentidos para apreensão dos conhecimentos científicos, em particular dos fenômenos relacionados a luz e cor. Este capítulo procura tratar da historicidade da Luz na sociedade, bem como da forma como esse tema vem sendo ensinado nas aulas de Física, fazendo, para tanto, uma revisão da teoria sobre o processo de ensino-aprendizagem desse conteúdo. O foco do trabalho se dá nos estudos de Ausubel e Lipman sobre aprendizagem significativa e o pensar crítico, respectivamente, para a construção de um modelo de ensino mais interativo e adequado ao desenvolvimento da aprendizagem dos alunos. Nesse sentido, procuramos traçar um panorama sobre como esse processo ocorre hoje em livros didáticos de Física do nível médio da rede de ensino regular, bem como em obras direcionadas para o nível superior.

2.1 A Importância da Problematização no Ensino de Física

A questão da problematização perpassa a valoração ou não daquilo que é espontâneo e não canônico nos resultados apresentados pelos alunos. Quanto mais distante da formalidade empírica, mais próximo estará o entendimento da formulação teórica. Nas aulas tradicionais, geralmente, não há um trabalho integrado entre professor e aluno que permita a livre expressão do pensamento e da opinião. Na maior parte das vezes, o estudo fica sem profundidade, ou se atém à pura memorização de conceitos, ou, no extremo oposto, permite-se que o aluno expresse qualquer coisa sob a desculpa de que esse é o pensamento natural/espontâneo do educando, e que, portanto, deveria ser respeitado. As concepções prévias dos alunos desempenham um papel fundamental na perspectiva de uma aprendizagem significativa. Mas, para que isso ocorra, é necessária uma organização prévia do conteúdo de ensino.

A resposta certa ou errada tem como suporte uma estrutura, uma rede de relações que dificilmente é explicitada e que não pode ser imediatamente reconhecida na sua aplicação local e particular. Aceito isto, a eliminação de um erro evidenciado numa situação dada não garante uma modificação no modelo mais geral e nem mesmo o descarte de uma de suas partes. Na aprendizagem significativa, a estrutura teórica como um todo tem que se modificar, e é pouco provável que isto ocorra com um único exemplo mal sucedido no meio de muitos outros que até o momento mais contribuíram para confirmar e construir a teoria espontânea/alternativa (GIRCOREANO, 2001, p. 5).

Nesse sentido, o estudo que propomos sobre o tema Luz e Cor baseia-se em uma estrutura investigativa que privilegiará não apenas o aspecto intuitivo da dos alunos, mas também os enunciados teóricos que ajudem a leva-los a construir significados a partir da experimentação, consolidando, assim, a base teórica por meio da formulação de hipóteses que poderão ser validadas ou não, o que também corroborará para a desconstrução de uma visão hermética de Física, ainda tão aplicada nas universidades e escolas básicas.

Para Medeiros e Lima (2017), o educador possui um importante papel na perspectiva de um ensino problematizador, pois será este quem irá apresentar ao aluno situações em que haja problemas a serem resolvidos com maior liberdade para descobrir novas possibilidades de ação, mesmo que se configurem ainda como meras especulações.

É buscando esse modelo de interação com o aluno, que se espera romper com o paradigma do ensino de física baseado na transmissão de conceitos e

fórmulas, em certo e errado, que cerceia a capacidade exploratória e a curiosidade dos jovens. Daí a relevância do aprofundamento deste estudo sobre a construção de um modelo alternativo para o ensino de física que propicie aos alunos a liberdade de elaboração de hipóteses, que, independentemente de sua validade ou não, sirvam de estímulo para a busca de novas respostas. Esse processo de busca colabora com o desenvolvimento cognitivo e social do jovem, que está sempre reorganizando as informações recebidas, a partir de um repertório de conhecimentos construídos por suas vivências.

Para que isso ocorra, é necessário que o aluno deixe de ser visto como mero espectador em sala de aula e assuma o papel de protagonista de seu processo de ensino-aprendizagem. Silva Filho e Ferreira (2018), baseados nos princípios de David Ausubel, definem a Aprendizagem Significativa da seguinte forma:

A aprendizagem de determinado conjunto de conceitos que formam um campo conceitual ou parte dele é a recepção deste conjunto de conceitos pela estrutura cognitiva do aprendiz, com os elementos que daí advêm, como a necessidade de reorganização dessa estrutura, bem como da própria informação (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p. 110)

Para Ausubel, o aluno possui uma rede de informações prévias, a que ele chama de subsunçores, que vai sendo formada a partir de seu contexto histórico-social. Nesse sentido, a aprendizagem pode ser entendida como um processo de ancoragem, via subsunçores, dos novos conhecimentos em uma estrutura cognitiva (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018). Segundo Moreira (2004):

A perspectiva de Novak é que quando a aprendizagem é significativa o aprendiz cresce, tem uma sensação boa e se predispõe a novas aprendizagens na área Mas o corolário disso é que quando a aprendizagem é sempre mecânica o sujeito acaba por desenvolver uma atitude de recusa à matéria de ensino e não se predispõe à aprendizagem significativa (MOREIRA, 2004, p.4).

Uma crítica que se faz à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel é de que ela foi construída há mais de 40 anos, e que se baseia em processos psicológicos abstratos, que não fazem conexão com a prática de sala de aula. Em resposta a esta crítica, Moreira (2017, p.8) propõe uma revisão dessa teoria, trazendo uma nova denominação de aprendizagem significativa crítica, que define como “aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela.”

Completando a visão anterior, Silva Filho e Ferreira (2018) observam que, nessa perspectiva crítica de aprendizagem, “o indivíduo torna-se participativo na construção do conhecimento na medida em que faz a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora e identifica as semelhanças e diferenças para reorganizar o novo conhecimento” (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p. 110).

Para implementação de uma aprendizagem significativa crítica, Moreira (2017) propõe nove princípios básicos, os quais apresentamos resumidamente a seguir:

- a) Perguntas ao invés de respostas (estimular o questionamento ao invés de dar respostas prontas)
- b) Diversidade de materiais (abandono do manual único)
- c) Aprendizagem pelo erro (é normal errar; aprende-se corrigindo os erros)
- d) Aluno como preceptor representador (o aluno representa tudo o que percebe)
- e) Consciência semântica (o significado está nas pessoas, não nas palavras)
- f) Incerteza do conhecimento (o conhecimento humano é incerto, evolutivo)
- g) Desaprendizagem (às vezes o conhecimento prévio funciona como obstáculo epistemológico)
- h) Conhecimento como linguagem (tudo o que chamamos de conhecimento é linguagem)
- i) Diversidade de estratégias (abandono do quadro-de-giz)

Esses nove princípios propostos por Moreira (2017), em geral, causam desconforto aos professores, porque contrariam o estado posto do ensino tradicional paradigmático em que o professor transmite verdades e certezas para um aluno que se comporta (ou espera-se que se comporte) como receptor passivo.

Essa mudança de paradigma de aprendizagem consiste principalmente na transformação do aprendiz em investigador, ou seja, trabalhar “o aluno do ponto de vista da descoberta, em um processo que promova a adesão destes ao que se busca compreender” (MOREIRA, 2017, p.9). A questão é: como auxiliar os professores a ajudarem seus alunos a aderirem à busca pelo conhecimento? Esse

desafio é destacado por Moreira (2017) diante da necessidade de os alunos reconstruírem suas estruturas conceituais no sentido de aumentar sua competência cognitiva.

Para superação desse desafio, Silva Filho e Ferreira (2018) destacam a necessidade de uma Teoria Educacional que possa conectar-se a uma Teoria Psicológica, no caso a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, revisitada por Moreira (2017) a partir de uma perspectiva crítica. Nesse sentido, Silva Filho e Ferreira (2018) entendem que a Teoria Educacional proposta por Mathew Lipman, pode ser adequada para esse fim.

A Teoria Educacional de Lipman (1995, parte II, citado por SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p.112) entende que o Pensar Crítico “se relaciona mais imediatamente com nossa capacidade de julgar, ou seja, contribui com a solução de problemas, a tomada de decisões e a aprendizagem de novos conceitos”

Contudo, o Pensar Crítico por si só não é capaz de atingir aquilo que Lipman (citado por SILVA FILHO; FERREIRA, 2018) chama de Pensar Superior; por isso, ele define outros dois tipos de Pensar: o Criativo – que tem caráter assimilativo e manipulativo das sensações e invenções vivenciadas pelo indivíduo; e o Cuidadoso – que se antepõe às ações executadas, e tem relação com os valores individuais que ajudam na construção do raciocínio. O somatório desses três modos de pensar forma o que Lipman chama de Pensamento de Ordem Superior, rico em conceitos, bem estruturado e de caráter investigativo. Podendo ser, dessa forma, articulado à concepção de uma aprendizagem significativa.

Neste sentido, o Pensamento de Ordem Superior tende a ser altamente significativo, entende Lipman. As características de riqueza e estruturação podem ser relacionadas com práticas características da abordagem fundamentada em Ausubel, como a da construção de mapas conceituais. O caráter investigativo, entretanto, aponta em um sentido que extrapola ao que se pode haurir da abordagem Ausubeliana (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p. 112).

Enquanto processo dialógico cabe ao professor o papel de direcionar as ações de tal forma que os alunos acessem o Pensamento de Ordem Superior. Para isso, sua participação deve se ater ao que acontece dentro da Comunidade de Investigação Silva Filho e Ferreira (2018), ou seja, àquilo que os alunos conseguem construir com base nos referenciais apresentados, e nos conceitos que eles reestruturaram a partir das atividades propostas, não cabendo ao professor intervenções de ordem subjetiva. De acordo com Silva Filho e Ferreira (2018, p.

114), “proceduralmente, o papel do professor é o de construir, na diacronia dialógica, os necessários organizadores prévios, em linguagem Ausubeliana”.

A partir desse novo tipo de intervenção é natural que se espere dos alunos um nível de interação e envolvimento emocional maior do que nas tradicionais aulas expositivas, baseadas em quadro e giz. A ação pedagógica demanda a articulação de estratégias de capacitação dos indivíduos sem situações de confrontação de ideias, questionamentos e inconformidade diante dos fatos, ampliando sua visão de mundo e seu universo de experiências por meio de um processo dialógico.

Segundo Silva Filho e Ferreira (2018), para que esse processo dialógico aconteça de maneira eficaz, o conhecimento deve ser transformado de modo a adaptar-se aos objetos de ensino, num processo que se denomina transposição didática.

Um conteúdo de saber que tenha sido definido como saber a ensinar, sofre, a partir de então, um conjunto de transformações adaptativas que irão torná-lo apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O ‘trabalho’ que faz de um objeto de saber a ensinar, um objeto de ensino, é chamado de transposição didática (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p. 120).

Dessa forma, para se alcançar uma otimização do saber científico, em termos didáticos, é necessário o confronto entre o aspecto normativo das Teorias Educacionais e os aspectos prescritivos das Teorias de Aprendizagem, tendo como eixo norteador a interdisciplinaridade dos conteúdos, o que significa, segundo Lipman, que a transposição didática resulta de duas convenções ordenadas do conhecimento:

(a) a primeira deriva de uma reflexão mais abrangente, sobre que tipo de sujeito se deseja formar a partir de determinado saber e, para além disso, a partir de quais parâmetros e calçado em quais visões formativas se busca delinear um saber a ser ensinado (tal como concebe Lipman, por exemplo, ao propor o “pensar crítico” como ortodoxia educacional);

(b) já a segunda, pressupõe um conjunto de processos suficientemente delimitados e direcionados a tipologias específicas de ensino aprendizagem – em termos mais simples, como, a partir de determinada concepção educacional, se formulam, desenvolvem e avaliam práticas muito concretas sobre o ensinar e visando ao aprender (é o caso, por exemplo, da prescrição ausubeliana sobre a aprendizagem significativa) (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p. 120).

Isto posto, temos que o processo de ensino e aprendizagem a que intentamos chegar deve articular necessariamente esses dois domínios: o domínio do saber – não apenas o factual e o academicista – e a aplicação de teorias de

aprendizagem, como a Teoria da Aprendizagem Significativa – levando-a à concretude do entendimento e não apenas ao saber.

Segundo Moran:

Educar é ajudar a transitar de um mundo de certezas para um mundo incerto através de novas perguntas. Uma educação aberta e ativa nos oferece mais chances de aprender com tudo e com todos, de confrontar nossos valores com os dos demais, de rever nossas crenças e escolhas, de fazer perguntas mais desafiadoras, de não ter respostas para tudo (MORAN, 2017, p.1).

A sequência didática desenvolvida para fins deste trabalho busca articular uma série de atividades com o objetivo de acessar o Pensamento de Ordem Superior dos alunos, potencializando suas habilidades e conceitos natos, acrescidos do rigor crítico e investigativo, conforme descrito por Lipman. Tudo isso levando em consideração uma proposição didática aberta, capaz de lidar com as incertezas do processo educacional de ensino e aprendizagem.

2.2 Concepções sobre o ensino de Luz e Cor

Um dos grandes desafios para o ensino de Física na educação básica é desenvolver no aluno a capacidade de compreender que essa ciência é muito mais do que uma sobreposição de fórmulas e teorias, e que fica muito mais fácil sua compreensão quando se experimenta, na prática, aquilo que é ensinado nas aulas regulares e nos livros didáticos. Para tanto, escolhemos, dentre as inúmeras possibilidades que esta disciplina nos oferece, a ótica, mais especificamente o estudo da relação entre luz e cor como conteúdo norteador de uma proposta de ensino, alinhada com um modelo de ensino e aprendizagem baseado nos princípios da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

A luz desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade humana, de acordo com Salvetti (2008):

A sociedade humana se desenvolveu, em boa medida, em torno da luz. De um grupo primitivo comendo ao redor de uma fogueira, a uma família conversando junto a um lampião de gás, transcorreram milhares de anos em tentativas de vencer a escuridão com o uso direto da luminosidade, produzida, inicialmente, pela queima de alguma espécie de material combustível. A luz servia não apenas para iluminar, mas para aquecer, limpar, transformar, comunicar. O uso do fogo em suas mais variadas versões é, em boa medida, o início do uso da luz em suas mais diversas formas (SALVETTI, 2008, p. 15).

Nesse sentido, julgamos necessário fazer uma recapitulação histórica que permita entender de onde veio e como surgiu o conceito de “luz” que iremos apresentar aos nossos alunos, de tal forma que fique claro o sentido e a importância que esse fenômeno ótico teve, e ainda tem, na construção da vida em sociedade que se conhece hoje (TOMÉ, 2020).

As primeiras observações sobre a Luz remontam à Grécia Antiga, apesar de ela estar presente no mundo muito antes da vida dos primeiros homínídeos que habitaram nosso planeta. Segundo Salvetti (2008, p.17) “A luz era uma coisa intrinsecamente ligada à nossa capacidade visual, e não uma entidade física diferente, a qual, de alguma forma, era absorvida pelos olhos e processada pelo cérebro, provocando uma resposta no corpo”. O quadro a seguir apresenta uma síntese das teorias dos principais filósofos gregos a respeito da luz.

Quadro 1: Síntese das ideias de filósofos gregos e suas teorias sobre a Luz.

Filósofo	Período	Teoria
Pitágoras	c582 – 500 a.C.	A luz consiste de raios que agem como tateadores, viajando em linha reta do olho ao objeto e a sensação da forma é obtida quando esses raios tocam os objetos.
Demócrito	c460 – 370 a.C.	Objetos visíveis emitiam “véus de matéria” da espessura de um átomo, que retém a sua forma, voam em todas as direções e são percebidas pelos nossos olhos.
Empédocles	c490 – 430 a.C.	Teoria pela qual o semelhante conhece o semelhante: “vemos a terra através da terra, a água através da água, o ar através do ar e o fogo através do fogo”.
Platão	c427 – 347 a.C.	Considerava que a visão era produzida por raios que se originavam no olho, tais raios colidiam com os objetos que eram então visualizados.
Aristóteles	384 – 322 a.C.	Ela se baseia na existência de um meio transparente que era apenas um receptáculo potencial de luz, um veículo da cor:
Euclides	320 – 275 a.C.	Descreveu o comportamento da luz num livro sobre ótica com doze postulados, o primeiro postulava: “os raios emitidos pelos olhos viajam em linha reta.”
Cláudio Ptolomeu	c100 – 170 d.C,	Foi o primeiro a registrar e coletar resultados experimentais sobre a refração medindo o desvio de um feixe de luz quando ele passa do ar para a água. Ele também acreditava na visão a partir do olho.

Fonte: Salvetti (2008, p. 17).

Até o início do século XII, pouca coisa evoluiu em relação às teorias propostas pelos filósofos gregos, mas foi com Ibnal-Haitham (963–1039), conhecido na Europa como Alhazen, que as coisas começaram a mudar. Foi ele quem primeiro distinguiu a diferença entre luz e visão, retirando da Ótica o aspecto subjetivo de que

são os olhos que veem. Além disso, foi ele quem refutou a lei da refração de Ptolomeu explicando que esta verificava-se apenas para pequenos ângulos, “discutiu a refração atmosférica, explicou o aumento aparente do Sol da Lua quando perto do horizonte e foi o primeiro a dar uma descrição precisa do funcionamento do olho humano” (RIBEIRO et al, 2015, p. 6).

Ainda no século XIII, três nomes se destacaram nos estudos da ótica: Robert Grosseteste, Roger Bacon e Vitelo de Silesia. Robert Grosseteste (ca. 1175–1253) era cientista, teólogo e bispo de Lincoln e propôs que a teoria deveria ser combinada com a observação experimental, lançando assim as bases do que se conhece hoje como o método científico. Naquela época, as cores estavam relacionadas com a intensidade da luz e o arco-íris era o resultado da reflexão e da refração da luz por camadas numa cortina de água. Acreditava que a visão envolvia emanações do olho para o objeto, tal como Euclides e outros filósofos gregos (SALVETTI, 2008).

Roger Bacon (ca. 1215–1294) era discípulo de Grosseteste e do seu método científico e desenvolveu diversas experiências com lentes e espelhos, considerando que a luz possuía uma velocidade finita e, ao contrário de seu mestre, atribuiu o arco-íris à reflexão da luz solar em gotas individuais (SALVETTI, 2008).

Já Vitelo de Silesia (1230–1275) foi o autor de *Perspectiva*, estudo sobre ótica que se tornou uma das referências na área durante séculos. Descobriu que o ângulo de refração da luz não é proporcional ao seu ângulo de incidência (SALVETTI, 2008).

Com a chegada do século XVII, importantes mudanças começaram a ocorrer nos estudos da luz. Johannes Kepler (1571–1630) desenvolveu estudos sobre o uso de lentes convergentes e divergentes em microscópios e telescópios, além descobrir as leis do movimento planetário. Kepler também descortinou os mistérios sobre a visão e as funções da pupila, da córnea e da retina, bem como descobriu a reflexão interna total (SALVETTI, 2008).

Em 1621, Snell (Willebrord, 1580–1626) foi o pioneiro na descoberta da Lei da Refração, estabelecendo a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de refração quando a luz passa de um meio transparente para outro (SALVETTI, 2008).

A Lei da Refração como a se conhece, envolvendo termos sinusoidais, foi publicada por René Descartes (1596–1650) em 1644. Já em 1657, Pierre de Fermat (1601–1665) postulou o princípio do tempo mínimo para a Lei da Refração, que diz

que “a trajetória percorrida pela luz ao se propagar de um ponto a outro é tal que o tempo gasto para percorrê-la é um mínimo” (SALVETTI, 2008).

Ao final do século XVII, a fabricação de lentes e a ótica geométrica já estavam bem avançadas, mas a natureza da luz era ainda um mistério. Foi quando Isaac Newton (1642–1727) deu sua contribuição imprescindível ao descrever a dispersão da luz branca quando atravessa um prisma (1666) e concluiu que a luz solar era constituída por luzes de diferentes cores (SALVETTI, 2008).

Nesse mesmo período Christiaan Huygens (1629–1695) desenvolvia a sua teoria ondulatória, apresentada no seu *Traité de Lumière* em 1690. Sua teoria previa que em cada ponto do espaço a luz excita ondas elementares. Essas excitações funcionariam como fontes secundárias, gerando assim a propagação da luz. Através dessa teoria, Huygens conseguiu explicar a velocidade reduzida da luz num meio mais denso, a Refração, a Polarização e a Birrefringência (SALVETTI, 2008).

No século XIX os estudos sobre a ótica obtiveram enorme avanço, e já em 1802 Thomas Young (1773–1829) formulou o princípio da interferência mostrando que a luz se comporta claramente como uma onda. Dessa forma pode explicar a Difração da luz, e foi também o primeiro a introduzir a ideia da luz como onda transversal (1817), que era até então vista como uma onda longitudinal (SALVETTI, 2008).

Já próximo do século XX, a teoria ondulatória era tida como verdade absoluta, é aí que Max Planck (1858–1947), em 1900, explica como se dava a distribuição de energia de um corpo negro. Einstein (1879–1955), mais tarde, usou o conceito de quanta de energia de Planck para descrever o efeito fotoelétrico, atribuindo propriedades corpusculares à luz (SALVETTI, 2008).

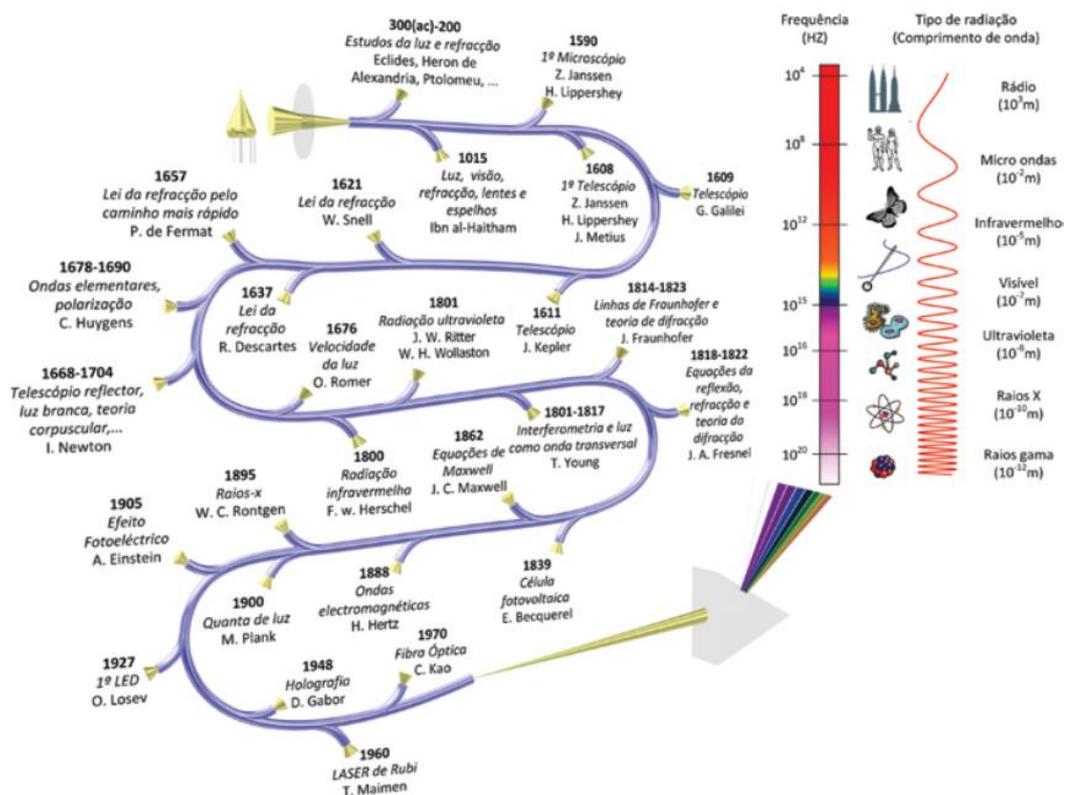
Ao reafirmar a teoria corpuscular, Einstein abriu caminho para o estabelecimento da noção de dualidade onda-partícula. Este conceito foi central na revolução desencadeada pela mecânica quântica, a qual, reciprocamente, atribui às partículas microscópicas um comportamento ondulatório (SALVETTI, 2008).

Em 1905, Einstein publicou artigos que revolucionariam a física resolveu quatro problemas associados à luz. O primeiro trata do efeito fotoelétrico e da dependência da energia dos elétrons emitidos por superfícies metálicas, em razão da frequência da luz incidente. Essa ideia, é essencial para o entendimento do efeito fotoelétrico, diz que a luz é composta por corpúsculos, os fótons, com energia

proporcional à sua frequência. Outro artigo tratava do movimento browniano, a deslocação errática de partículas suspensas numa solução devida às colisões com moléculas de água, estudo esse que pôs fim à polémica sobre a existência ou não dos átomos (SALVETTI, 2008).

Por fim, apresentou a Teoria da Relatividade, na qual a luz tem um papel importantíssimo, e a demonstração da equivalência entre a massa de repouso de um corpo (m) e a energia nele armazenada (E) por meio da célebre equação $E = mc^2$, em que c representa a velocidade da luz no vácuo. A Ilustração 1 traz um resumo sobre estas etapas.

Figura 1: Cronologia de acontecimentos históricos e descobertas relacionadas com a luz com inclusão do espectro eletromagnético.



Fonte: Ribeiro et al (2015, p. 8).

De acordo com Ribeiro et al (2015):

O desenvolvimento da teoria quântica por Planck e as contribuições dadas por Einstein no início do século XX levaram a um entendimento mais profundo das propriedades e natureza da luz. Desencadeou-se então um processo acelerado de invenções e desenvolvimento de tecnologias baseadas na luz, das quais se destacam o laser e a fibra óptica (2015, p.9).

Como dito no início desta seção, e ratificado pela citação de Ribeiro et al (2015), a luz é um fenômeno que acompanha a humanidade desde os primórdios, e sua evolução se confunde com mais de dois séculos da nossa história, portanto, não é exequível imaginar que seu estudo nos cursos médios da Educação Básica seja relegado a meras formulações ou postulados matemáticos.

Porém, ocorre que, na maioria das classes, em função do número reduzido de aulas, o ensino de ótica se resume a parte geométrica, que descreve a luz como um conjunto de raios e suas interações com espelhos e lentes por meio de formulações matemáticas e esquemas geométricos. Nesse contexto, a natureza da luz é relegada a um segundo plano, ou nem se quer é abordada.

Sobre a compreensão da cor, Melchior e Pacca (2004) afirmam que:

Compreender a cor e suas influências é mais que uma questão de cultura geral e ou uma contextualização necessária para a formação de especialistas; conhecer os processos de formação e os fenômenos relacionados à cor nos permite compreender, opinar e realizar escolhas em um mundo repleto de tecnologia e influenciado pela mídia, pois, dois terços das informações interpretadas pelo cérebro provêm do sistema visual (MELCHIOR; PACCA, 2004, p. 2).

Melchior e Pacca (2004) complementam dizendo que as cores podem estimular o interesse dos educandos devido a sua influência sobre o comportamento humano em situações como: a iluminação teatral, em que a cor que ilumina os cenários produz emoções, aplicações publicitárias que utilizam a cor para influenciar a escolha de um produto, estudos biólogos que indicam que plantas e animais usam as cores para a defesa e procriação, entre outros exemplos.

Esse é o ambiente que se espera criar em uma sala de aula, com elementos que façam sentido para os alunos, para que possam enxergar os conceitos físicos nas atividades corriqueiras do dia a dia, ou no caso específico deste estudo, os fenômenos óticos relacionados às cores. Ao investigar sobre os modelos alternativos que os alunos possuem sobre luz e cor, Melchior e Pacca (2004) identificaram a falta de integração entre o conceito de cor e suas componentes:

Falta, nos modelos alternativos revelados pela revisão bibliográfica, a integração entre o conceito de cor e suas componentes. São modelos em que a cor é determinada somente pelo sistema visual (por meio de sensações/percepções) ou somente pela luz incidente; ou ainda, modelos nos quais a cor é considerada como uma característica do objeto que dificilmente sofre alterações (MELCHIOR; PACCA, 2004, p.4).

Da mesma forma, os efeitos da luz sobre a visão ainda são abordados nos cursos médios mais pelo aspecto formalista, do que por suas aplicações práticas que explicam as relações da ótica com a capacidade de compreender e fazer a leitura do mundo que está exposto ao redor.

Nesse sentido, consideramos importante a elaboração de estratégias didático-metodológicas que visem a uma compreensão mais integrada dos vários modelos que se sobrepõem no imaginário dos alunos a respeito da luz e de sua relação com as cores. Para Medeiros e Lima (2017), o educador possui um importante papel na perspectiva de um ensino problematizador, pois será este quem irá apresentar ao aluno situações em que haja problemas a serem resolvidos.

2.3 O Ensino de Ótica

A partir do que foi visto nas seções anteriores, passaremos agora a fazer uma análise de como estão sendo apresentados, nos livros didáticos de Física para o Ensino Médio e Superior, os conteúdos de Luz e Cor, com foco na possibilidade de utilização desse material numa proposta metodológica diferenciada.

Conforme ressaltado por Melchior e Pacca (2004), o estudo das cores é algo extraordinário. Seus efeitos e aplicações no cotidiano podem gerar um tema abundante de significado para o ensino de ciências. Mesmo observando a pouca atenção dada ao estudo da cor nos conteúdos de ótica do Ensino Médio, entendemos que os fenômenos cromáticos poderão gerar problematizações capazes de proporcionar um aprendizado mais contextualizado e significativo da luz e suas propriedades.

2.2.1 O ensino de ótica no Nível Médio

Nesta seção, será apresentada a análise da abordagem do conteúdo de ótica em alguns livros de física voltados para o Ensino Médio. Pela facilidade de acesso às obras, abordaremos os seguintes autores: SANT'ANNA et al, 2010; BOAS, DOCA, BISCOLA, 2017; TORRES, et al, 2013; MÁXIMO, ALVARENGA, 2012; RAMALHO JUNIOR, FERRARO, SOARES, 2003.

Na maior parte dos livros didáticos, o conteúdo de ótica tem seu foco no estudo da Ótica Geométrica, tratando basicamente da Reflexão e Refração da Luz, normalmente apresentado na forma clássica, fornecendo ao aluno conceitos e

formulações, sem lhe seja dada a desejada abertura para a problematização e o questionamento.

Alvarenga e Máximo (2012) abordam no livro *Curso de Física* aspectos como reflexão da luz e refração da luz. Esses temas são tratados nos capítulos 5 e 6, respectivamente. Não nos cabe aqui analisar o conteúdo dos capítulos, mas a distribuição das atividades, pensando em uma metodologia investigativa, em que os alunos, interagindo com o conteúdo de ensino, possam não só apreender o que lhes é apresentado, mas também se apropriar dele de forma crítica e significativa.

Mesmo considerando o pouco espaço reservado à experimentação deste conteúdo no livro, destacam-se duas experiências, contudo ainda muito teóricas, que demandam o acompanhamento direto do professor para que o aluno consiga encontrar e entender os resultados delas.

Uma dessas experiências é sobre a dispersão da luz branca, que pode ser feita tanto com água em um copo de superfície lisa ou com prisma de vidro. Sant'anna, et. al. (2010) já observam que a luz branca sofre dupla refração: a primeira ocorre quando a luz passa do ar para o vidro, formando um leque colorido; a segunda quando esta sai do vidro para o ar novamente.

Outra experiência observada foi a de construção do disco de Newton. De acordo com Máximo e Alvarenga (2012), o resultado dessa experiência tem a ver com o funcionamento do olho humano, que ao ser sensibilizado pela luz oriunda de um objeto conserva a imagem observada durante um décimo de segundo. Dessa forma quando suas ou mais imagens se sobrepõem sobre a retina, com intervalo igual ou inferior ao anterior, a sensação é de continuidade.

No modelo geométrico apresentado nos livros didáticos, a luz é representada por raios – retas orientadas – que indicam a direção e o sentido de propagação da luz, formando uma “frente de luz”. Boas, Doca, Biscola (2017, p.196) definem que “frente de luz, são fronteiras entre a região já atingida por um pulso luminoso e a região ainda não atingida.” O raio de luz tem sua origem na fonte de luz, sendo perpendicular às frentes de luz. Os raios de luz que são emitidos por uma fonte constituem um feixe luminoso que pode ser divergente, convergente ou paralelos. Consideramos que tal interpretação contribui muito pouco para o processo de aprendizagem dos alunos, principalmente pelo fato de quase sempre não haver uma clareza de que se trata apenas de um modelo didático.

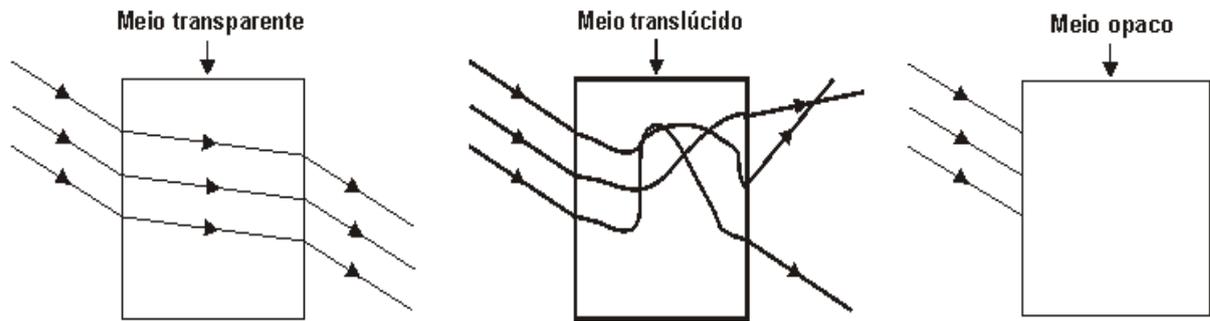
Continuando o estudo da luz tem-se a definição de fonte de luz. De acordo com os livros didáticos analisados, as fontes de luz se dividem em primárias e secundárias. As primárias são aquelas que emitem luz: a luz solar, a chama de uma vela, a lâmpada quando acesa, entre outras. Já as secundárias são os corpos que refletem a luz que recebem de outras fontes, havendo um processo de difusão, no qual a luz se espalha de forma aleatória, como exemplo tem-se a Lua, as nuvens, uma árvores, as lâmpadas quando apagadas (SANT'ANNA et al, 2010; BOAS, DOCA, BISCOLA, 2017; TORRES, et al, 2013; MÁXIMO, ALVARENGA, 2012).

Depois são apresentados os princípios da ótica geométrica: princípio da propagação retilínea da luz, princípio da reversibilidade dos raios de luz, e princípio da independência dos raios de luz. O princípio da propagação retilínea da luz é exemplificado pela formação de sombra e penumbra. Também são exemplificados os eclipses solares – quando a sombra e penumbra da lua interceptam a terra – e o eclipse lunar – quando a luz penetra na região de sombra da terra (RAMALHO JUNIOR, FERRARO, SOARES, 2003).

O princípio da reversibilidade indica que os raios de luz seguem sempre uma trajetória retilínea independente do sentido do percurso e o princípio da independência dos raios de luz mostra que quando os raios de luz se cruzam, cada um deles segue seu trajeto de forma independente, como se os outros não existissem (RAMALHO JUNIOR; FERRARO; SOARES, 2003).

Na sequência, analisou-se livros que informam sobre a classificação dos meios de propagação da luz. Indicam como meios transparentes aqueles que permitem a passagem da luz descrevendo trajetórias regulares e bem definidas e citam como exemplo: o ar, a água e o vidro. Os meios translúcidos são aqueles em que a luz descreve trajetórias irregulares com intensa difusão, como exemplos indicam: o papel vegetal, a neblina e a fumaça. Por sua vez os meios opacos são aqueles em que a luz não se propaga, como: a madeira, o papelão e metal (SANT'ANNA et al, 2010; DOCA, BISCOLA, 2017; TORRES, et al, 2013). A Figura 2a seguir mostra a representação desses meios em dos livros analisados.

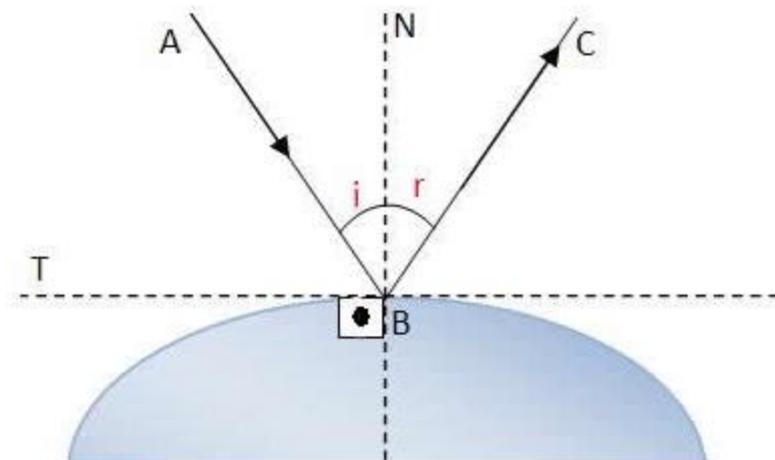
Figura 2: Meios de propagação da luz.



Fonte: Bôas, Doca e Biscola (2017, p. 178).

Na sequência apresentam a distinção entre a reflexão e refração. Segundo Bôas, Doca e Biscola (2017), na reflexão a luz volta a se propagar no meio de origem após incidir na superfície de separação deste meio com outro. Já na refração o feixe de luz que emerge de um meio 1 de uma superfície passa a se propagar em um meio 2. A primeira Lei da Reflexão informa que o raio refletido pertence ao mesmo plano formado pelo raio incidente e pela reta normal ao ponto de incidência. A segunda Lei da Reflexão ressalta que o ângulo de reflexão será sempre igual ao ângulo de incidência. A Figura 03 apresenta a ilustração do fenômeno da reflexão em um dos livros analisados (BÔAS; DOCA; BISCOLA, 2017).

Figura 3: Ilustração do fenômeno da reflexão.



Fonte: Bôas, Doca, Biscola (2017)

AB = Raio incidente; BC = Raio refletido
N= Reta normal a S no ponto de incidência

T= Reta tangente a S no ponto de incidência

I = Ângulo de incidência, formado pelo raio incidente (AB) e pela reta normal (N)

r = ângulo de reflexão, formado pelo raio refletido (BC) e pela reta norma (N)

No caso da refração, a primeira Lei indica que o raio incidente (RI), a reta normal à superfície de superação (N) e o raio refratado (RR) estão em um mesmo plano. Já a segunda Lei de Refração (designada como Lei de Snell e Descartes) explica a relação entre os ângulos de incidência (i) e de refração(r) com os índices de refração n_1 e n_2 dos meios 1 e 2. Conforme Torres et al (2013) sendo V_1 e V_2 as velocidades de propagação da luz nos meios 1 e 2, respectivamente, podemos escrever:

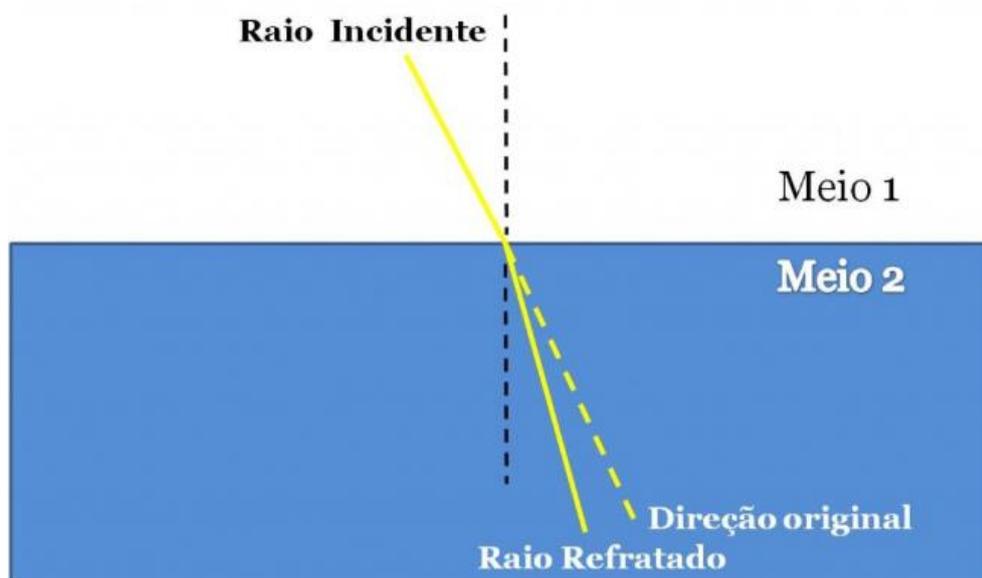
$$\frac{\text{sen}i}{\text{sen}r} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\text{Mas, sendo } n_1 = \frac{c}{v_1} \text{ e } n_2 = \frac{c}{v_2}, \text{ resulta: } \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\text{Portanto, } \frac{\text{sen}i}{\text{sen}r} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_1 \cdot \text{sen}i = n_2 \cdot \text{sen}r$$

De acordo com essa relação, o meio de maior índice de refração absoluta é chamado mais refringente. Para uma incidência oblíqua, o raio de luz, no meio mais refringente fica mais próximo da normal que no meio menos refringente (TORRES, et al, 2013). A Figura 4 apresenta a ilustração do fenômeno da refração.

Figura 4: Ilustração do fenômeno da refração.

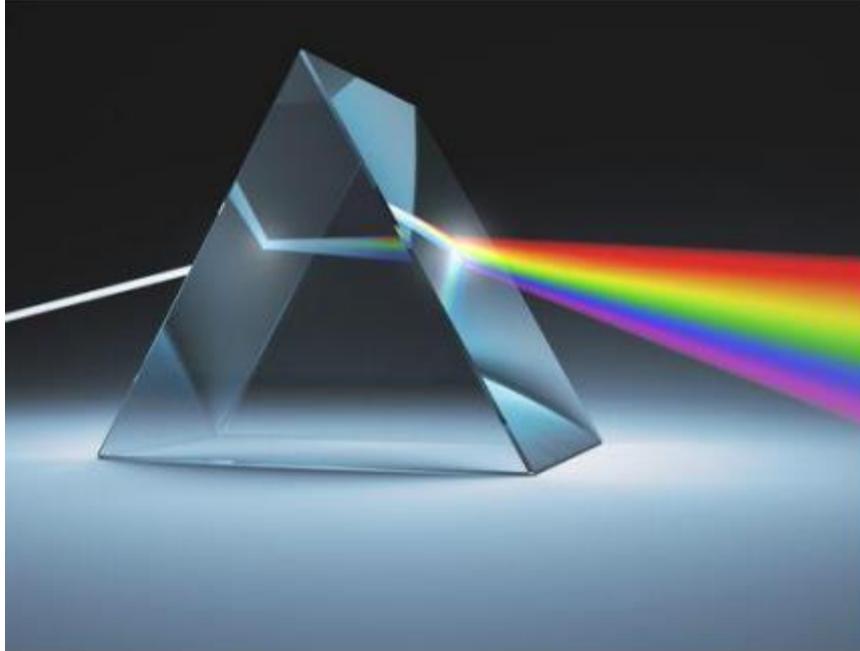


Fonte: Bôas; Doca; Biscola (2017)

No estudo da refração os autores destacam o fato de que o índice de refração depende do comprimento de onda (ALVARENGA; MÁXIMO; 2012). Para exemplificar, normalmente apresentam a ilustração da incidência da luz branca em um prisma de vidro (Figura 5). Ao incidir sobre um prisma de vidro a luz branca sofre dupla refração, dando origem a um feixe colorido em que se pode observar as cores: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Entre estas, a vermelha é a que sofre menor desvio e a violeta a mais desviada de todas, o que é justificado pela diferença entre os índices de refração das duas cores (SANT'ANA, et al, 2010; ALVARENGA; MÁXIMO, 2012).

Ao citar este experimento, os autores fazem referência à Isaac Newton que observou a dispersão da luz branca em seu primeiro trabalho sobre a natureza das cores. De acordo com Máximo e Alvarenga (2012), ao buscar uma explicação adequada para o resultado do experimento, Newton lançou a hipótese de não ser a luz branca uma cor pura, ao contrário, seria ela, o resultado da superposição ou mistura de todas as cores do espectro. Sendo assim, ao passar pelo prisma, a luz branca se decompõe, pois cada cor se refrata sobre um ângulo diferente. A figura 5 apresenta uma ilustração do fenômeno da dispersão da luz branca.

Figura 5: Ilustração do fenômeno da dispersão da luz branca.



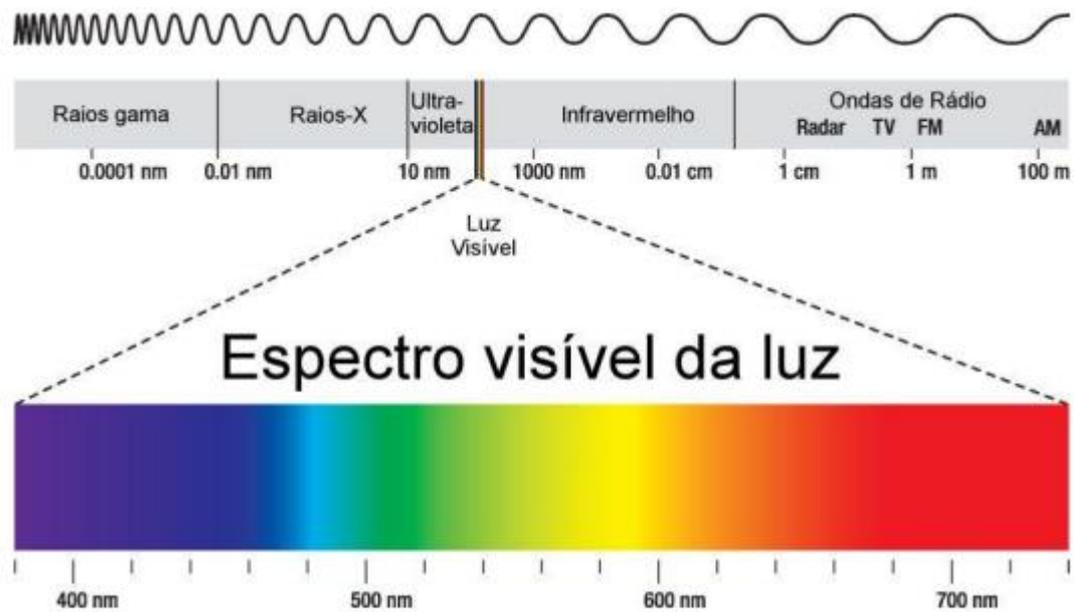
Fonte: Sant'ana, et al, (2010).

Tal fenômeno é utilizado para explicar a formação do arco-íris. Quando a luz do sol incide sobre as gotículas de água em suspensão na atmosfera durante e após a chuva, o raio solar refrata, sofrendo dispersão. O feixe colorido é refletido na superfície interna da gota e, ao emergir, se refrata novamente, causando maior separação das cores (ALVARENGA; MÁXIMO, 2012).

Para uma compreensão consistente do fenômeno da refração o modelo de “raio de luz” não é suficiente. É preciso compreender a luz como uma onda eletromagnética com frequência, período e comprimento de onda específicos, indicados no espectro eletromagnético (Figura 6).

Quando se fala da cor de um objeto, estima-se que este esteja sendo iluminado por uma luz branca, que é formada pela superposição das cores do espectro de luz visível (SANT'ANA, et al., 2010; ALVARENGA; MÁXIMO, 2012). No intervalo do espectro eletromagnético correspondente à luz visível, cada frequência determina a sensação de uma cor (Figura 6). Os órgãos visuais são estimulados por ondas eletromagnéticas de frequência na faixa de 4×10^{14} Hz que corresponde à luz vermelha, seguida das frequências maiores que correspondem às cores laranja, amarelo, verde, azul, anil e o violeta, além de tonalidades intermediárias.

Figura 6: Ilustração do espectro eletromagnético.



Fonte: Pereira (2016, p. 11).

Quando os olhos recebem mais de uma dessas frequências simultaneamente, tem-se a sensação de cores diferenciadas. Quando se recebe, por exemplo, as luzes: verde, vermelha e azul, pode-se ter a sensação da cor branca. Conforme Bôas; Doca; Biscola (2017, p. 246):

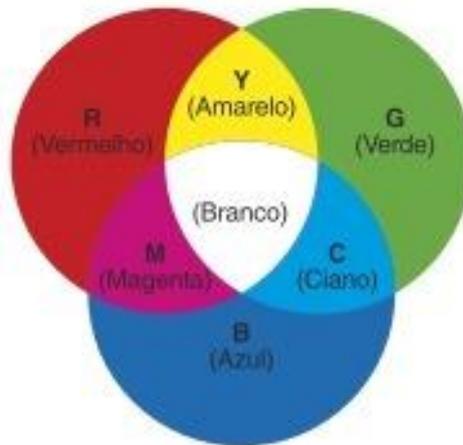
Não existe uma onda eletromagnética cuja frequência cause a sensação do branco. Essa sensação resulta de várias sensações simultâneas de cores diferentes. O preto, por sua vez, corresponde a ausência (total ou quase total) de ondas eletromagnéticas visíveis.

Na definição do que seja a luz, os livros didáticos também trazem outras variantes, como a luz monocromática e a luz policromática. Segundo Bôas, Doca, Biscola (2017) a primeira é constituída por ondas eletromagnéticas de uma única frequência, já a segunda é constituída por ondas eletromagnéticas de várias frequências distintas, como a luz solar.

Por outro lado, no tocante às cores, poucos livros de física apresentam uma diferenciação entre cor pigmento e cor luz. De acordo com Cursio (2013, p.67) a cor pigmento pode ser considerada como um “conjunto de partículas sólidas, orgânicas ou inorgânicas, que não seja solúvel na substância que for acrescentada e que não reaja fisicamente ou quimicamente com a mesma.” Os pigmentos são, em parte, responsáveis pelas cores que enxergamos a partir da reflexão da luz sobre os objetos e ambientes. As cores primárias para a luz são o vermelho, verde e azul, e quando sobrepostas formam as cores secundárias para luz, que são consideradas

as cores primárias para os pigmentos: ciano (azul + verde), magenta (vermelho + azul), e amarelo (vermelho + verde) (RAMALHO JR.; FERRARO; SOARES, 2003). Segundo Torres (2013, p. 203) “é possível obter qualquer cor misturando as quantidades apropriadas das três cores primárias, vermelho, verde e azul”, ou seja, pode-se criar cores combinando, de forma apropriada, a emissão de luz dos três comprimentos de ondas relacionados a essas cores. A Figura 7 apresenta uma ilustração da sobreposição de cores.

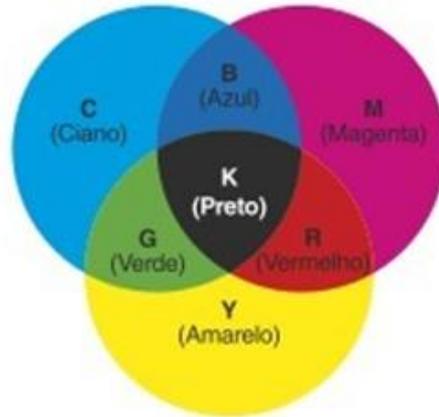
Figura 7: Cores primárias, secundárias e complementares.



Fonte: Torres (2013)

No caso específico da pigmentação, a combinação de cores possibilita uma infinidade de aplicações, como, por exemplo, o processo de impressão colorida. Na impressão tradicional emprega-se um sistema de cores substantivo (CMYK) ciano, magenta, amarelo e preto. Nesse sistema, a soma das cores dos pigmentos primários resulta na cor preta. A Figura 8 ilustra o sistema CMYK de cores.

Figura 8: Modelo de cores CMYK.

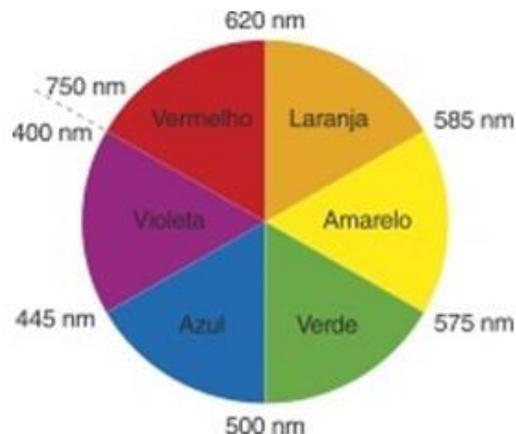


Fonte: Torres (2013)

A mistura das cores ciano com o amarelo resulta na cor verde; o magenta associado ao amarelo resulta no vermelho; o magenta com o ciano resulta na cor azul. Nesse sentido, teoricamente, a mistura desses três pigmentos (CMY) deveria resultar na cor cinza ou preta, mas na prática resulta em algo próximo ao marrom, daí a necessidade de as impressoras utilizarem também um cartucho na cor preta. A combinação dessas cores (ciano, magenta, amarelo e preto) reflete outros tons contínuos presentes nas fotografias coloridas.

A foto colorida é o resultado da superposição das cores citadas, a mistura de pigmentos dessas quatro cores pode resultar em milhões de cores diferentes, quando se observa uma foto iluminada com a luz branca. A determinação da cor de um corpo é dada pela roda de cores indicada na Figura 9.

Figura 9: Roda de cores.



Fonte: Torres (2013)

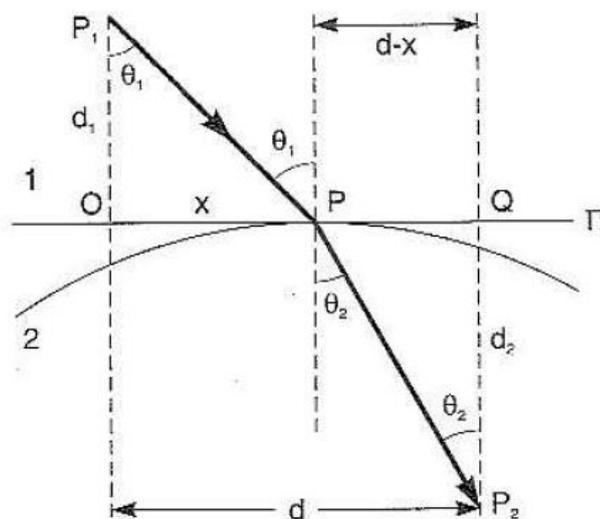
2.2.2 A óptica no ensino superior

Diferente da didática utilizada no Ensino Médio, a ótica no Ensino Superior está voltada para uma abordagem mais matematizada. Há inserção de novas fórmulas com propriedades particulares focadas no aprendizado do aluno, contudo com nível mais aprofundado, dependendo do curso escolhido. Os conceitos de raio e feixe de luz ainda é mantido.

Tomaremos como exemplo o fenômeno da refração da luz. Halliday, et al (2016) descrevem o fenômeno da seguinte forma: quando um raio luminoso encontra a interface de dois meios transparentes, em geral aparecem um raio refletido e um raio refratado. Os dois raios permanecem no plano de incidência. O ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência, e o ângulo de refração está relacionado com o ângulo de incidência pela lei de Snell.

Já em Nussenzveig (1998), temos a seguinte descrição: seja um feixe de luz emitido no ponto P_1 e detectado no ponto P_2 , conforme mostra a Figura 10. Esse feixe se move através de um ambiente com índice de refração n_1 , sofre refração na superfície $S(\pi)$ e continua seu movimento no ambiente com índice de refração n_2 . Sabendo que seu movimento em qualquer um dos ambientes é uma reta, segundo o princípio de propagação retilínea da luz. No entanto, o feixe muda sua direção de propagação assim que sofre refração.

Figura 10: Princípio de Fermat para refração da luz.



Fonte: Nussenzveig (1998)

Segundo Nussenzveig (1998), a lei de Snell trata quantitativamente essa mudança de direção sofrida pelo feixe durante a refração e nosso objetivo será o de

demonstrá-la. Para isso, utiliza-se o princípio de Fermat, que afirma que entre dois pontos quaisquer a luz escolhe como caminho a ser percorrido aquele com o menor tempo gasto possível. Sendo assim, existe um ponto P sobre a superfície S que será o ponto final para o movimento no ambiente 1 e ao mesmo tempo ponto de partida para o movimento no ambiente 2 separando o movimento total em duas retas. Ao determinar que ponto é esse, pode-se demonstrar a lei de Snell. Nussenzveig (1998) apresenta essa demonstração conforme exposto a seguir.

Então, o índice de refração n é dado por:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

O tempo do movimento é dividido em duas partes: o tempo de movimento no ambiente 1 e o tempo no ambiente 2. Escrevendo esses tempos em função do deslocamento (L_1 e L_2) e das velocidades (v_1 e v_2) em cada ambiente e computando seu valor total temos:

$$t = \frac{L_1}{v_1} + \frac{L_2}{v_2} \quad (2)$$

Pode-se escrever essa expressão em termos dos índices de refração ao invés das velocidades:

$$t = \frac{L_1 n_1}{c} + \frac{L_2 n_2}{c} \quad (3)$$

O ponto P indica o local onde o feixe incide sobre a superfície e é determinado a partir da sua posição x , como mostra a Figura 10 acima. Dessa forma, pode-se escrever as distâncias L_1 e L_2 em função de x

$$L_1^2 = d_1^2 + x^2 \quad (4)$$

$$L_2^2 = d_2^2 + (L - x)^2 \quad (5)$$

Assim, podemos aplicar o princípio de Fermat, que matematicamente pode ser escrito como:

$$\frac{dt}{dx} = 0 \quad (6)$$

Substituindo o tempo na expressão acima temos que:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{L_1 n_1}{c} + \frac{L_2 n_2}{c} \right) = 0 \quad (7)$$

Dos termos presentes na equação 10, apenas os valores de L_1 e L_2 são escritos como função de x e, portanto, podem ser derivados. Os demais são constantes que são retiradas da derivação:

$$\frac{n_1}{c} \frac{dL_1}{dx} + \frac{n_2}{c} \frac{dL_2}{dx} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{n_1}{c} \left(\frac{x}{L_1} \right) - \frac{n_2}{c} \left(\frac{L-x}{L_2} \right) = 0 \quad (9)$$

Diferenciando-se as equações (4) e (5) em relação a x :

$$2L_1 \frac{dL_1}{dx} = 2x \quad (10)$$

$$\frac{dL_1}{dx} = \frac{x}{d_1} \quad (11)$$

$$L_2^2 = d_2^2 + (d-x)^2$$

$$2L_2 \frac{dL_2}{dx} = 2(-1)(d-x) \quad (12)$$

$$\frac{dL_2}{dx} = \frac{-2(d-x)}{2L_2} = -\frac{(d-x)}{L_2} \quad (13)$$

Substituindo-se os resultados das diferenciais (14) e (17) na equação (11), vem que:

$$\frac{n_1}{c} \frac{dL_1}{dx} + \frac{n_2}{c} \frac{dL_2}{dx} = 0$$

$$\frac{n_1}{c} \frac{x}{L_1} - \frac{n_2}{c} \frac{(d-x)}{L_2} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{n_1}{c} \frac{x}{L_1} = \frac{n_2}{c} \frac{(d-x)}{L_2} \quad (15)$$

$$\frac{n_1 x}{c} = \frac{n_2 (d-x)}{L_2} \quad (16)$$

Da análise da geometria, temos que os ângulos θ_1 e θ_2 , relacionam o x com a hipotenusa.

$$\text{sen}\theta_1 = \frac{x}{L_1} \quad (17)$$

$$x = L_1 \text{sen}\theta_1 \quad (18)$$

$$\text{sen}\theta_2 = \frac{d-x}{L_2} \quad (19)$$

$$d-x = L_2 \text{sen}\theta_2 \quad (20)$$

Substituindo as equações (23) e (25) na equação (21), tem-se:

$$\frac{n_1 x}{L_1} = \frac{n_2 (d-x)}{L_2}$$

$$\frac{n_1 (L_1 \text{sen}\theta_1)}{L_1} = \frac{n_2 (L_2 \text{sen}\theta_2)}{L_2} \quad (21)$$

Logo:

$$n_1 \text{sen}\theta_1 = n_2 \text{sen}\theta_2 \quad (22)$$

Essa demonstração aplicada aos alunos do Ensino Superior não aparece nos livros do Ensino Médio, pois estes ainda não possuem conhecimentos aprofundados de matemática. Nesse caso é apresentado aos alunos apenas a formulação final (22).

O aluno do curso superior tem maiores condições de analisar formulações, como as aplicadas para a Lei de Snell. Young e Freedman (2016) fazem uma abordagem resumida da didática utilizada para o curso superior na seção “A luz e suas propriedades”. Observa-se que há um aprofundamento do conteúdo abordado no Ensino Médio. Os autores indicam que a luz visível nada mais é do que uma onda eletromagnética com comprimentos de onda que variam entre $0.4 \mu\text{m}$ e $0.75\mu\text{m}$, limites do espectro visível. Utilizam as equações de Maxwell para mostrar que o campo eletromagnético livre é realmente uma onda que se propaga no vácuo com a conhecida velocidade da luz. Também são indicados os experimentos que foram utilizados para demonstrar esse fato, como o experimento das duas fendas de Young.

Outro conceito trabalhado no Ensino Superior que é pouco explorado no Ensino Médio é o conceito de fóton. Halliday et al (2016) utilizam o trabalho de Einstein sobre o efeito fotoelétrico para tratar desse tema. Segundo os autores, Einstein afirmou em seu trabalho, sobre efeito fotoelétrico, que a luz deve se comportar como uma partícula sem massa que carrega uma quantidade de energia discreta e finita, o fóton. Essa energia é dada por: $E = h.v$, em que h é a constante de Plank, cujo valor é $6,626.10^{-34}\text{Js}$, e v é a frequência da luz considerada.

Young e Freedman (2016) utilizam o efeito Compton para mostrar que radiação sofre espalhamento quando colide com átomos de uma estrutura, introduzindo a ideia de dualidade onda-partícula.

Como exemplo de Nussenzveig (1998), a aplicação da fórmula de Einstein para a energia do fóton, podemos calcular a energia carregada por um fóton de luz vermelha que tem comprimento de onda de $0,75\mu\text{m}$, começando pela frequência da onda,

$$c = \lambda v$$

$$3.10^8 \text{ m/s} = (0,75.10^{-6})v$$

$$v = 4.10^{14} \text{ Hz}$$

Utilizando a equação para energia do fóton temos:

$$E = hv,$$

$$E = (6,626.10^{-34} \text{ Js}) (4.10^{14} \text{ Hz}),$$

$$E = 2,65.10^{-19} \text{ J}.$$

A consideração para a energia do fóton implica em outros resultados importantes. Segunda a teoria da relatividade, os sistemas têm que satisfazer a seguinte equação para energia:

$$E^2 = m^2 c^4 + P^2 c^2.$$

Considerando a energia do fóton e que ele deve ter massa nula temos:

$$P = \frac{hv}{c}$$

Isso indica que o fóton apresenta momento. Assim, ele pode interagir com sistemas mudando seu estado de movimento. No entanto, assim como a energia de apenas um fóton, seu momento é muito pequeno para ser sentido em problemas usuais do dia a dia. Mas, existem sim sistemas em que mais fótons podem ser relevantes.

Como exemplos de aplicação, são apresentadas câmeras de televisão, refletores de calor de infravermelho, projetores de cinema, células solares e visores dos astronautas (YOUNG; FREEDMAN, 2016). É importante destacar ainda que no ensino superior não se trabalha conceitos de cores, daí a importância desse tema no ensino médio.

2.3 A Visão e as Cores

O fenômeno da visão ocorre quando a luz é refletida por um objeto e atinge o sistema visual, provocando sensações que determinam a cor do objeto observado. De acordo com Melchior e Pacca (2004), essas sensações “são reações corporais imediatas a um estímulo externo; elas nos dão as qualidades dos objetos por meio de efeitos internos sobre o organismo que geram percepções” (MELCHIOR, PACCA, 2004, p. 3). Curcio (2013) destaca a papel do cérebro na interpretação das cores:

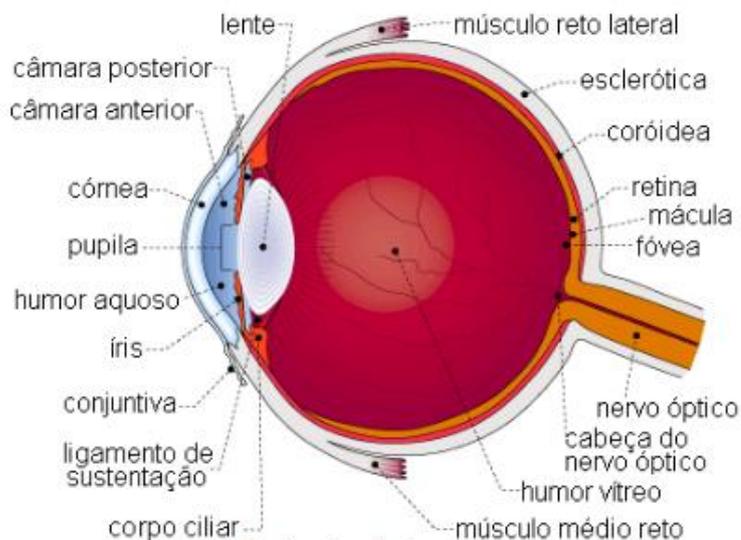
As cores percebidas não dependem apenas da fonte, seja ela uma superfície recoberta por pigmentos, um dispositivo eletroeletrônico, ou um material em determinada temperatura. A percepção de uma cor depende também da cor de luz que ilumina o ambiente, no qual a cor percebida se encontra. O que o receptor percebe é o que o seu cérebro “interpretou” a partir do estímulo recebido pelo seu sistema visual (CURCIO 2013, p.69-70).

Nesse aspecto, percebe-se que a visão existe somente para o cérebro, pois este transforma os impulsos nervosos, interpretando-os de uma forma particular. Portanto, a visão pode ser considerada um processo ativo e criativo, que envolve outros elementos além das informações fornecidas pelo meio (MELCHIOR, PACCA, 2004).

Além desses fatores, tem-se que o olho humano pode interferir na forma como vemos as cores. Por exemplo, uma pessoa com discromatopsia congênita, também conhecida como daltonismo, apresenta defeitos na visão cromática, ou seja, não observam as cores como deveriam enxergar. A taxa de prevalência desse problema entre homens é de 6% a 10% (MELO, et al, 2018).

Melo et al (2018) observam que a retina é composta por aproximadamente cinco milhões de cones e cada um contém um tipo específico de fotopsina: vermelha, verde ou azul. De acordo com Melo et al (2018 p. 02) a fotopsina “é a proteína responsável por converter o sinal luminoso em sinal elétrico, que é conduzido pelo nervo óptico até o córtex cerebral, onde a visão cromática é interpretada”. Dessa forma cada fotopsina será sensível a luz conforme seu comprimento de onda, distintos em cada tipo. A Figura 11 apresenta uma ilustração das partes que compõem o olho humano.

Figura 11: Representação esquemática do olho humano.



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/eclipses/olho.htm>

No ser humano, o mecanismo de visão de cores é tricromático, isto é, possui três tipos diferentes de estimulação de cones que explicam todas as outras cores.

Os fotorreceptores, responsáveis pela transformação da luz em estímulo elétrico, sendo de dois tipos: os cones e os bastonetes. Os cones são responsáveis pela visão das cores, eles captam luzes coloridas, sendo três tipos, que correspondem ao espectro de cores distintas (verde, azul e vermelho), que são as cores reconhecidas segundo a teoria tricromática de Young-Helmholtz. Porém, esse processo de reconhecimento das cores acontece desde que a intensidade destas luzes seja significativa, pois sua sensibilidade diminuirá medida que a intensidade da luz diminui. Por este motivo, não conseguimos enxergar cores quando estamos à noite, sem iluminação, ou em ambientes escuros (PINHO, 2012, p. 16).

Por esse motivo, existem pessoas que enxergam as cores de forma diferenciada. Para Melo et al (2018):

Os defeitos congênitos da visão cromática são resultados de alterações nos genes codificadores das fopsinas e são divididos em: tricromatismo anômalo (quando uma das três fopsinas tem seu espectro de absorção de luz deslocado para outro comprimento de onda), dicromatismo (quando há ausência de um dos tipos de fopsinas) e monocromatismo (condição muito rara caracterizada pela presença de apenas uma das fopsinas, normalmente a azul). Nas situações de tricromatismo anômalo, o defeito de visão cromática costuma ser menos intenso (MELO et al, 2018 p. 03)

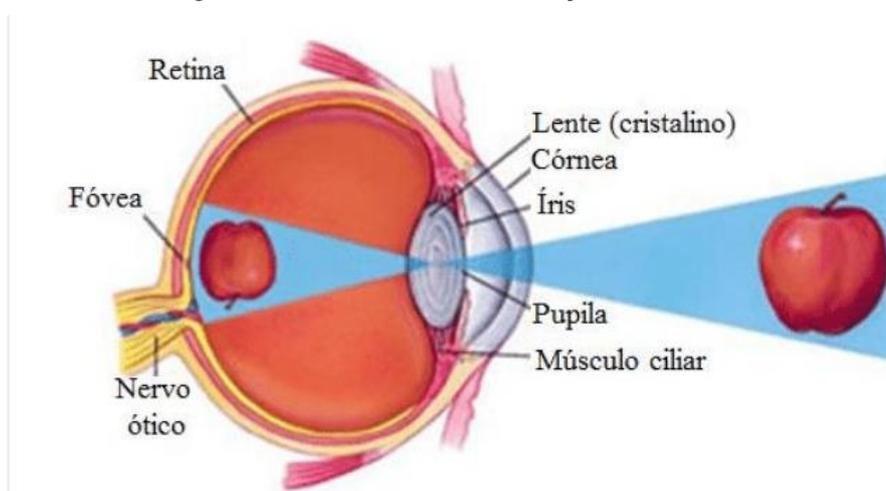
A visão é um dos cinco sentidos que o ser humano possui. Ela é responsável pelas informações das coisas que nos cercam, sendo o único sentido que capacita uma pessoa a fazer associação do perto e do longe, o geral e o detalhado, o colorido ou a ausência de cores (TORRES, et. al., 2013). A visão por

meio de um processo que envolve a estimulação do sentido pela luz, proveniente dos objetos, que incide e penetra no olho formando a imagem. No senso comum há várias formas de interpretar o fenômeno da visão. De acordo com Gircoreano e Pacca (2001):

Na concepção espontânea, "raio visual" constitui um conceito fundamental para explicar a visão: a luz vai do olho até o objeto para captá-lo visualmente; a visão não depende da existência de luz; objetos com cores claras podem ser vistos independentemente de haver luz no ambiente; cores claras prevalecem sobre as escuras. Diante de um problema de reflexão num espelho, o senso comum considera que a imagem do objeto está na superfície do próprio espelho. A luz enfraquece com a distância, de forma semelhante ao ímpeto carregado por um corpo, na mecânica (GIRCOREANO, PACCA, 2001, p.28).

Na concepção científica, o olho humano tem um funcionamento semelhante a uma máquina fotográfica, em que a distância p da imagem à lente é constante. Dessa forma, se a lente do olho possuir uma distância focal invariável, somente alguns objetos seriam vistos com nitidez. A imagem de um objeto é focalizada invertida na retina, por meio de um sistema composto, principalmente, pela córnea e o cristalino. A córnea possui uma forma arredondada que desvia a luz em direção à retina. O cristalino, por sua vez, possui a capacidade de variar sua distância focal, por meio dos músculos ciliares, o que contribui para focalização da imagem na retina (SANT'ANNA et al, 2010). A Figura 12 apresenta uma ilustração do sistema de focalização do olho humano.

Figura 12: Sistema de focalização do olho humano.



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/olhos/>. Acesso em: 16 mai.2020

Em relação a esse sistema, Pinho (2012) faz um breve resumo em que observa que a córnea funciona como uma lente focal, pois quando a luz passa por

ela, seus raios são refratados e passam por uma fina estrutura, encontrando o humor aquoso, sofrendo desvios devidos à diferença dos índices de refração. De acordo com Pinho (2012, p.16) “o cristalino é responsável por 1/3 restante da focalização total da imagem do olho humano e é a segunda lente do sistema de focalização humano.”

Com base no que foi exposto, pode-se observar que a visão humana é um processo complexo, constituído por diversos elementos que nos levam a interpretação do mundo exterior. Verifica-se que o processo da visão está relacionado a sensores e processadores de luz, acionados e estimuladores pela sensação que a luz provoca.

3 METODOLOGIA

O presente estudo tem como referencial metodológico uma pesquisa-ação que teve como objetivo construir e avaliar uma Sequência Didática para o ensino de ótica no 2º ano do Ensino Médio. Este tipo de pesquisa tem sofrido algumas críticas em função do alto grau de envolvimento do pesquisador com o objeto de estudo. Segundo Gil:

[...] a pesquisa-ação tem sido alvo de controvérsia devido ao envolvimento ativo do pesquisador e à ação por parte das pessoas ou grupos envolvidos no problema. Apesar das críticas, essa modalidade de pesquisa tem sido usada por pesquisadores identificados pelas ideologias reformistas e participativas (2007, p. 55).

Apesar das críticas, a utilização da pesquisa-ação possibilita ao professor investigar sua própria prática de uma forma crítica e reflexiva. Tal abordagem é coerente com o propósito deste estudo em que o professor é o autor de um produto educacional que surge da problematização de sua própria prática educativa. Tem-se a convicção de que a interação pesquisador-aluno é relevante e necessária, visto que, o objeto da pesquisa é também o objetivo do próprio trabalho, ou seja, apresentar uma proposta didática que promova mudanças efetivas no processo de ensino-aprendizagem de Física na Escola Básica.

Para organização da proposta de ensino foram utilizados os pressupostos de Moreira (2017) sobre as Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que propõem princípios básicos sobre uma aprendizagem significativa crítica.

3.1 Participantes

A Sequência Didática (SD) foi aplicada conforme observado na subseção 4.1, em uma turma regular do segundo ano do Ensino Médio, de uma escola pública da Rede Estadual de Ensino de Minas Gerais, composta por 25 alunos. Esta escola está localizada em um município do interior, com aproximadamente 2.615 habitantes (IBGE, 2010)¹, e tem perfil demográfico urbano-rural.

A turma era composta por 17 meninos e 8 meninas, a maioria na faixa etária entre 17 e 18 anos, somente um aluno estava com 16 anos e dois com 19 anos, na época da aplicação. Em um levantamento feito com a turma sobre as

¹Dados disponíveis em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/simao-pereira/panorama>. Acesso em 14.jan.2020

perspectivas futuras dos alunos, vinte e três disseram que pretendiam dar continuidade nos estudos, onze indicaram que iriam fazer o Programa de Ingresso Seriado Misto da Universidade Federal de Juiz de Fora, oito tinham a pretensão de fazer algum curso técnico e quatro disseram que iriam fazer ENEM. Apenas dois alunos indicaram não ter interesse em continuar os estudos.

Apesar de a maioria da turma indicar que pretendia dar continuidade aos estudos, no início da pesquisa os alunos eram bem dispersos e não se interessavam muito pelas disciplinas. Parece que a intenção era somente concluir o Ensino Médio. Os pais eram quem cobravam um estudo mais avançado para eles.

A disciplina de Física sempre foi um obstáculo para os alunos, seja pela dificuldade em seu entendimento, pela falta de base matemática ou pelo simples desinteresse. Contudo, sabendo destes obstáculos, no início do primeiro semestre de 2019, ao me apresentar para os alunos, propus uma didática diferenciada, com atividades que envolvessem ações para além da parte teórica. Também foi combinado que no decorrer da pesquisa não haveria atividades avaliativas extras, além daquelas praticadas em sala de aula.

Esse acordo estimulou a presença dos alunos, abrindo a possibilidade para um trabalho diferenciado que pudesse aumentar o interesse deles pelos conteúdos de Física. Aos poucos, a ansiedade por aprender algo novo, fez com que os alunos fossem naturalmente tornando-se assíduos, não chegando nem mesmo atrasados.

Neste estudo, os alunos da turma terão suas identidades preservadas. Quando citados na pesquisa, serão identificados por uma sequência de letras do alfabeto: Aluno A, Aluno B, Aluno C, e assim sucessivamente.

3.2 Procedimentos

Para o desenvolvimento da Sequência Didática, foi seguido um roteiro que teve início com a formulação do tema, oriundo dos estudos e reflexões construídas no âmbito da disciplina Processos e Sequências de Ensino e Aprendizagem do Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, quando éramos incitados a construir novas ferramentas pedagógicas para o ensino de Física.

O tema escolhido foi a ótica, mais especificamente as relações entre luz e cor. Conforme explicitado no capítulo anterior, consideramos que a forma como esse tema é abordado no Ensino Médio contribui pouco para a compreensão de fenômenos que envolvem a luz e a cor no dia a dia dos alunos. Feita a escolha do tema passa-se para a construção da Sequência Didática com base na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. A justificativa para tal escolha deve-se ao caráter de autonomia que essa teoria propicia ao aluno como gestor da sua própria aprendizagem, bem como o respeito ao seu repertório de conhecimentos prévios, que servirão de base para a formulação de novos conceitos, além de incentivar a investigação como base estruturante da aprendizagem. Também foram analisadas questões norteadoras para um levantamento do conhecimento prévio dos alunos.

Para elaboração da SD, inicialmente, procuramos identificar experimentos e atividades sobre luz e cor propostos em livros didáticos. Na sequência, passamos a selecionar alguns desses experimentos que fossem de fácil execução em sala de aula e que incentivassem a participação efetiva dos alunos. Finalizados esses procedimentos, deu-se início à fase de organização e estruturação da Sequência Didática apresentada na íntegra no Apêndice A.

A análise foi conduzida segundo os estudos de Lipman sobre o Pensamento de Ordem Superior. Conforme observado por este autor, o desenvolvimento dessa forma de pensamento tem de grande importância no processo de aprendizagem pelo seu caráter investigativo que aponta para um sentido que extrapola o ensino e está relacionado à criatividade humana (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018), buscando-se, assim, uma forma de ensinar que valorize o processo de aprendizagem dos alunos. Lipman (1995 citado por SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p.113) aponta quadro habilidades necessárias à construção do Pensamento de Ordem Superior, são elas:

1. **Habilidade de raciocínio:** capacidade de haurir conclusões ou inferências a partir de conhecimentos prévios, de modo a garantir coerência e sistematicidade ao discurso;
2. **Habilidade de formação de conceitos:** capacidade de identificar vínculos conceituais e estabelecer relações entre conceitos, formando conceitos mais complexos;
3. **Habilidade de investigação:** capacidade de alcançar as soluções dos problemas postos pela realidade, estando fortemente relacionada com a capacidade de adotar o método científico;

4. **Habilidade de tradução:** capacidade de compreensão e reprodução, em sua própria linguagem, de discursos escritos ou falados. (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p.113, destaques nossos)

O intuito da análise realizada foi de avaliar a eficiência da SD enquanto ferramenta pedagógica que possa servir de modelo e suporte para outros professores de Física, que também encontram dificuldade em produzir uma melhor compreensão do conteúdo de ensino por parte dos alunos e que pretendem mudar o modo de ensinar Física nas classes do Ensino Médio.

4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE LUZ E COR

Uma das maiores preocupações dos educadores está no aprendizado dos educandos. O maior desejo de todo professor é que o aluno aprenda aquilo que é ensinado. Porém, essa não é uma tarefa fácil, principalmente quando se trata do ensino de Física na escola básica. Essa inquietação se transformou na seguinte questão de estudo: de que forma pode-se transformar a Física do Ensino Médio em uma atividade de ensino prazerosa e enriquecedora para a formação dos alunos?

Fui buscar a resposta nos estudos sobre novas metodologias de ensino, baseadas nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Embasada nos pilares dessa teoria – a saber: levantamento dos conhecimentos prévios; elaboração dos organizadores prévios; construção das situações problemas, realização da diferenciação progressiva dos conceitos; realização da reconciliação integradora e efetivação do processo de consolidação do conhecimento – me propus a elaborar uma Sequência Didática para trabalhar o conteúdo de luz e cor no segundo ano do Ensino Médio.

Para atender os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa, a estrutura de uma Sequência Didática deve ser dinâmica e diversificada. Segundo Gircoreano e Pacca (2001), é muito pouco provável que o aprendizado se dê em único exemplo, daí a importância da diversificação das atividades propostas.

Na aprendizagem significativa, a estrutura teórica como um todo tem que se modificar, e é pouco provável que isto ocorra com um único exemplo mal sucedido no meio de muitos outros que até o momento mais contribuíram para confirmar e construir a teoria espontânea/alternativa (GIRCOREANO; PACCA, 2001, p.25).

Moran (2015) complementa essa linha de raciocínio afirmando que:

As metodologias precisam acompanhar os objetivos pretendidos. Se queremos que os alunos sejam proativos, precisamos adotar metodologias em que os alunos se envolvam em atividades cada vez mais complexas, em que tenham que tomar decisões e avaliar os resultados, com apoio de materiais relevantes. Se queremos que sejam criativos, eles precisam experimentar inúmeras novas possibilidades de mostrar sua iniciativa (MORAN, 2015, p. 17).

Portanto, buscou-se, por meio de atividades diversificadas, explorar fenômenos físicos sobre luz e cor que pudessem auxiliar no processo de aprendizagem dos alunos. Ao explorar esses fenômenos, muitas vezes colocamos nossas próprias convicções em cheque para nos dispormos a aprender junto com os alunos.

A seguir, apresentamos a sequência das atividades propostas. Na primeira etapa, foram utilizados dois recursos com o objetivo de se obter as concepções prévias dos alunos: uma questão aberta e um questionado quantitativo com quatro questões de múltipla escolha sobre o tema que seria abordado (luz e cores). O resultado obtido neste teste não interfere nas atividades desenvolvidas e serve para avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema antes das aulas formais sobre o assunto.

O restante da sequência é composto por uma série de atividades que buscaram envolver os alunos ativamente no processo de aprendizagem. Para isso, eles foram estimulados a fazer previsões, observações e buscar explicações para os fenômenos observados. O Quadro 2 apresenta um resumo da sequência didática elaborada:

Quadro 2: Resumo da sequência didática elaborada

AULA	ATIVIDADE	MATERIAL UTILIZADO	OBJETIVOS	RESULTADOS ESPERADOS
1	Questão norteadora	Apresentada antes da aplicação do questionário	Verificar o conhecimento dos alunos sobre o tema	Identificar as concepções prévias dos alunos sobre luz e cor
2	Aplicação do questionário antes da pesquisa	Papel, lápis e caneta	Conhecer os conceitos prévios dos alunos a respeito do tema de estudo.	Reconhecer o nível de entendimento dos alunos sobre o conteúdo a ser estudado
3	Classificação dos meios de propagação da luz	Papelão, vidro, papel vegetal	Diferenciar meios transparentes, opacos e translúcidos	Identificar as propriedades de cada meio em relação à propagação da luz
4	Construção do disco Newton	CD, Disco de papel impresso com sete setores, lápis de cor, papel colorido, tinta guache, barbante	Construir Discos de Newton com vários tipos de pigmentação de cor.	Analisar as diferenças dos diversos tipos de pigmentação na composição das cores.
5	Explorando o Disco de Newton	Discos de Newton construídos pelos alunos	Mostrar a composição de cores nos diversos discos	Problematizar a composição de cores no disco de Newton: A luz branca é, de fato, a mistura de todas as cores?
6	Decomposição da luz branca num prisma	Lanterna de celular, papel, prisma de calcita	Mostrar a decomposição da luz branca através de um prisma	Problematizar os efeitos da decomposição e recomposição da luz branca.
7	Problematizando as cores dos objetos	Caixas de cores com lâmpadas coloridas, papeis coloridos	Mostrar a variação das cores dos objetos a partir da luz que incide sobre eles.	Entender que a cor não é somente uma propriedade do objeto.
8	Tornando um objeto invisível e aplicação	Glicerina, copo e recipiente de vidro	Mostrar a importância da interação da luz com o	Entender que um objeto só se torna visível por causa

	de um novo questionário	transparente.	objeto para torná-lo visível.	do efeito da luz sobre ele.
--	-------------------------	---------------	-------------------------------	-----------------------------

Fonte: autoria própria

Conforme Moreira (2017), normalmente a escola oferece uma forma de saber distanciado dos conhecimentos diários dos alunos, que simplesmente copiam as informações passadas no quadro para serem memorizadas. Por sua vez, a Teoria de Aprendizagem Significativa sugere novas abordagens em que o envolvimento dos alunos é parte fundamental do processo educativo. No cômputo dessa teoria, uma das formas de se organizar o ensino é por meio das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.

Partindo das premissas de que não há ensino sem aprendizagem, de que o ensino é o meio e a aprendizagem é o fim, essa sequência é proposta como sendo uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). São sugeridos passos para sua construção, são dados exemplos e é apresentado um glossário dos termos técnicos utilizados (MOREIRA, 2017, p. 01).

Moreira (2017) indica também os princípios para a construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), entre os quais destaca-se, por exemplo, os organizadores prévios, que buscam estabelecer a relação entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios dos alunos. Para Moreira (2017), numa UEPS, o papel do professor deve ser o de um provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas; de organizador do ensino e mediador da captação de significados pelos alunos. Nesse sentido a SD proposta para fins deste trabalho parte das seguintes questões direcionadas aos alunos: 1) Descreva com a maior quantidade de detalhes possíveis o processo que lhe permite enxergar os objetos; 2) Por que os objetos possuem cores? A partir desse questionamento, as atividades foram organizadas de modo a proporcionar aos alunos uma sequência lógica de construção do conhecimento sobre o tema luz e cor.

A segunda atividade procurou trabalhar os possíveis efeitos da interação da luz com os objetos. Para isso os alunos foram estimulados a classificar os meios de propagação da luz, cujo resultado esperado era identificar as propriedades de cada meio em relação à propagação da luz.

A terceira etapa da sequência didática foi a construção do Disco Newton. O objetivo dessa atividade foi de proporcionar aos alunos condições para analisar e avaliar a relação entre luz e cor, procurando identificar as diferenças dos diversos tipos de pigmentação na composição das cores. A proposta de construção de vários

discos com pigmentações diferentes visou atingir os processos da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora, propostos por Moreira (2017) como forma de construir a consolidação do conhecimento pelos alunos.

As etapas seguintes: Explorando o Disco de Newton, Decomposição da luz branca num prisma e a Problematização das cores dos objetos, também seguem o processo de diferenciação e reconciliação no sentido de uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 2017). Todas as atividades foram trabalhadas em torno de situações-problema que aferiam sentido aos novos conhecimentos e foram pensadas para despertar a intencionalidade do aluno para a apreensão do objeto de conhecimento.

Por fim, a última etapa – tornando um objeto invisível – foi pensada nessa mesma perspectiva de diferenciação e reconciliação. A partir do momento que o aluno compreende que as cores podem ser entendidas como um dos efeitos da interação da luz com os objetos, em que condições um objeto pode se tornar invisível?

Toda Sequência Didática foi pensada em termos de uma relação trifásica entre o aluno, a professora e os materiais educativos (MOREIRA, 2017), cujo objetivo final é permitir que os alunos possam captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino. Nesse contexto, a avaliação da aprendizagem deve ser feita durante o processo por meio de buscas de evidências que sejam indicativas de uma aprendizagem significativa é progressiva (MOREIRA, 2017).

4.1 Descrição da aplicação da Sequência Didática aula por aula

A sequência didática foi aplicada em 07 aulas no período de 09 de abril a 21 de maio de 2019. A aplicação ocorreu em uma turma do 2º ano de uma escola pública de um município com características rural/urbana do interior de Minas Gerais. O Quadro 3 apresenta um resumo das aulas desenvolvidas.

Quadro 3: Resumo da aplicação da SD em sala de aula

Aula	Atividade	Conteúdo
09/04	Aplicação do questionário	Conhecimento prévio do tema
18/04	Classificação dos meios	Meios transparentes, translúcidos e opacos
23/04	Construção do disco de Newton	Reflexão e refração (parte 1)
30/04	Observação do experimento	Reflexão e refração (parte 2)

07/05	Decomposição da luz no prisma	Dispersão da luz, refração da luz
14/05	Caixa de cores	Combinando cores
21/05	Objeto invisível	Refração da luz

Fonte: autoria própria

A turma do 2º ano na qual a sequência foi aplicada era composta por 25 alunos e conforme descrito no capítulo anterior era uma turma pouco motivada, que durante o processo de aplicação da SD foi se tornando interessada e participativa, fazendo com que o resultado do trabalho tenha sido muito produtivo. Na descrição da aplicação da SD, serão observadas a sequência das aulas e as didáticas aplicadas em cada momento. A análise e a discussão dos resultados serão feitas, respectivamente, nos capítulos 5 e 6.

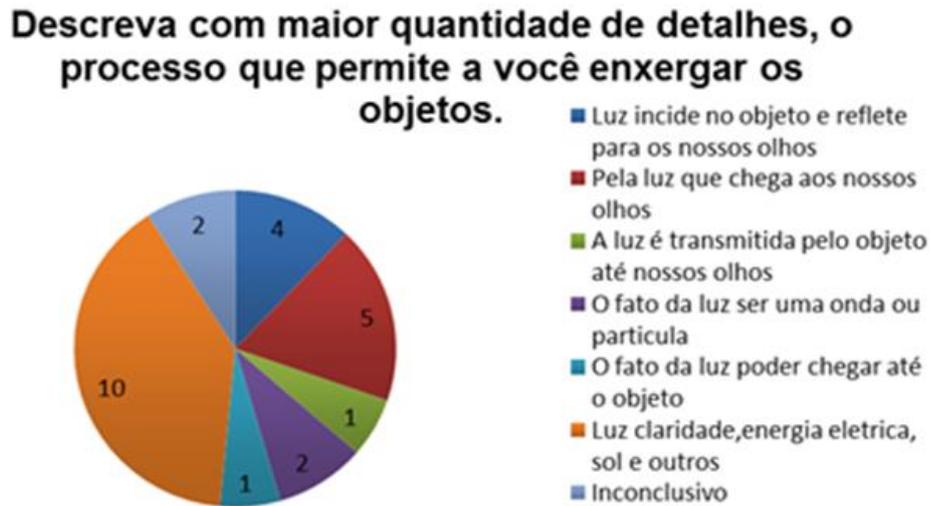
4.2.1 Descrição da aula1 –Levantamento do conhecimento prévio dos alunos sobre luz e cor

Na primeira aula, os alunos foram esclarecidos sobre o propósito do trabalho que estava sendo desenvolvido. As duas perguntas norteadoras foram passadas no quadro e os alunos foram orientados a respondê-las com base em suas próprias concepções, sem recorrer a nenhum tipo de material: 1) Descreva com a maior quantidade de detalhes possíveis o processo que lhe permite enxergar os objetos; 2) Porque os objetos possuem cores?

Procuramos deixar claro que a aplicação dessas perguntas e do questionário seguinte tinha apenas o intuito de saber qual o conhecimento prévio que os alunos possuíam sobre o conteúdo que passaríamos a abordar. As questões foram respondidas por todos os 25 alunos da turma.

As respostas às questões norteadoras foram analisadas e organizadas em categorias criadas a partir de uma leitura prévia em que procuramos fazer um levantamento dos conceitos predominantes em cada resposta. A partir dessa leitura foram criadas categorias de concepções, ilustradas nos Gráficos 1 e 2, mostrados a seguir.

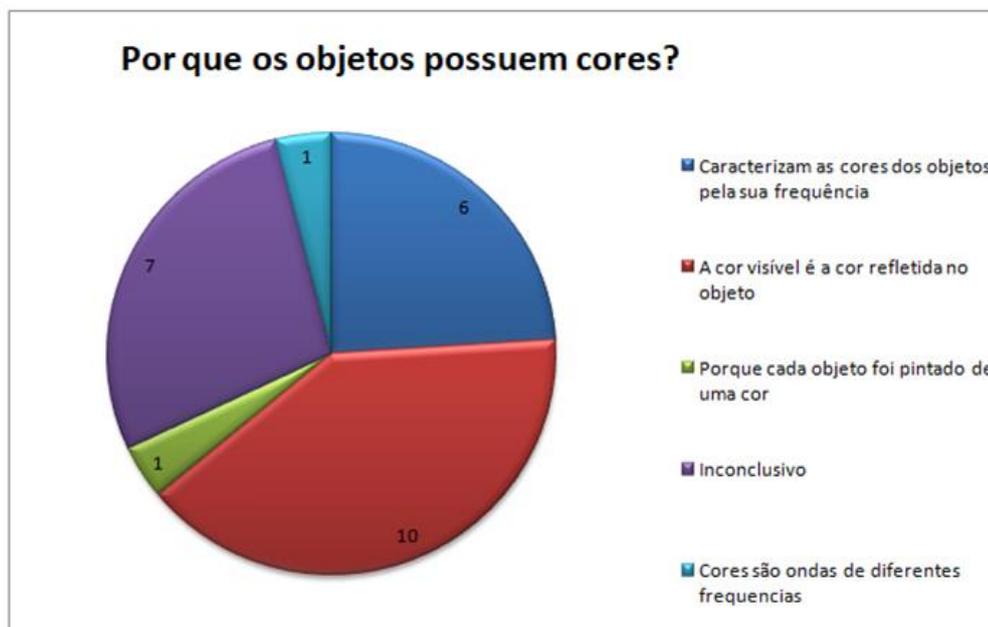
Gráfico 1: Síntese das respostas dos alunos à primeira questão norteadora



Fonte: autoria própria

Observa-se no Gráfico 1 que na maior parte das respostas (10) os alunos associam o fato de enxergar um objeto a algum tipo de fonte de luz (claridade, energia elétrica, Sol e outras fontes). Outro grupo significativo (4 e 5) indica que a luz deve chegar aos nossos olhos. Apenas um aluno indicou que é o objeto que transmite a luz aos nossos olhos. A partir dessas respostas, percebemos que a maioria dos alunos não tinha um conhecimento aprofundado sobre os fenômenos óticos, mas, de certa forma, já faziam uma associação correta entre a necessidade da luz e de esta chegar até os nossos olhos para que possamos enxergar um objeto. A seguir apresentamos o Gráfico 2 com a síntese das respostas da segunda questão norteadora.

Gráfico 2: Síntese das respostas à segunda pergunta norteadora



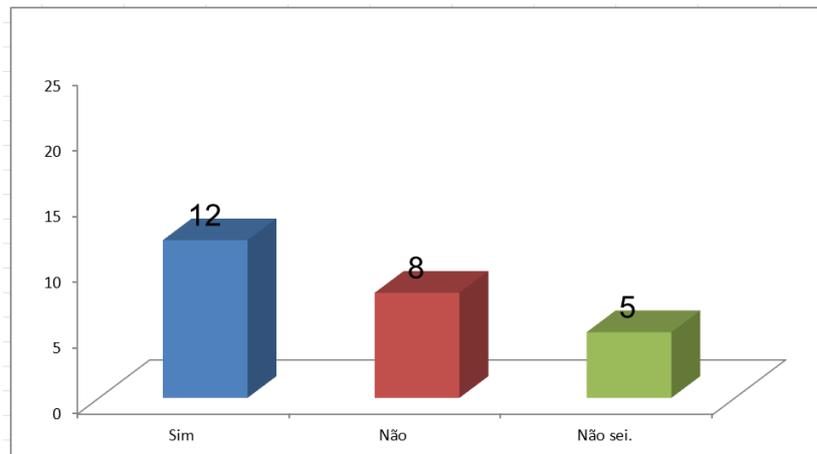
Fonte: autoria própria

De acordo com os dados apresentados no Gráfico 2, um número significativo de alunos (10 + 6) associa a cor com aquilo que é refletido pelos objetos e que são ondas de diferentes frequências. As demais respostas remetem a uma parcela significativa de alunos que não apresentam uma noção clara do motivo de os objetos possuírem cores. Na análise geral das respostas dos alunos, podemos considerar que aproximadamente metade da turma possui alguma noção da relação entre luz, cor e visão.

Na sequência, foi aplicado um questionário (Apêndice B) com quatro perguntas mais formais sobre o tema luz e cor. O objetivo desse questionário foi fazer uma breve correlação entre o conhecimento prévio dos alunos, indicado nas respostas dadas às questões norteadoras, e o conhecimento formalizado do assunto, geralmente apresentado em livros didáticos e questões de vestibulares. Lembramos que na época da aplicação do questionário os alunos ainda não tinham tido aulas formais do conteúdo de ótica.

A primeira pergunta questionava se era possível enxergar todas as cores em um arco-íris e apresentava três possibilidades de resposta: Sim; Não; e Não sei. As respostas obtidas foram sistematizadas no Gráfico 3 a seguir.

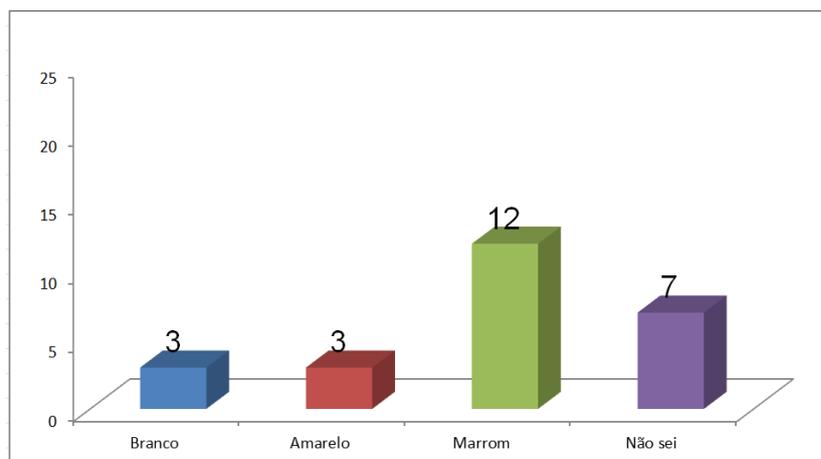
Gráfico 3: É possível ver todas as cores em um arco-íris?



Fonte: autoria própria

A segunda questão perguntava sobre a cor obtida a partir da junção de um feixe de luz vermelha e outro de luz verde num cenário branco, apresentando como opções de resposta: branco, amarelo, marrom ou não sei. (GRÁFICO 4).

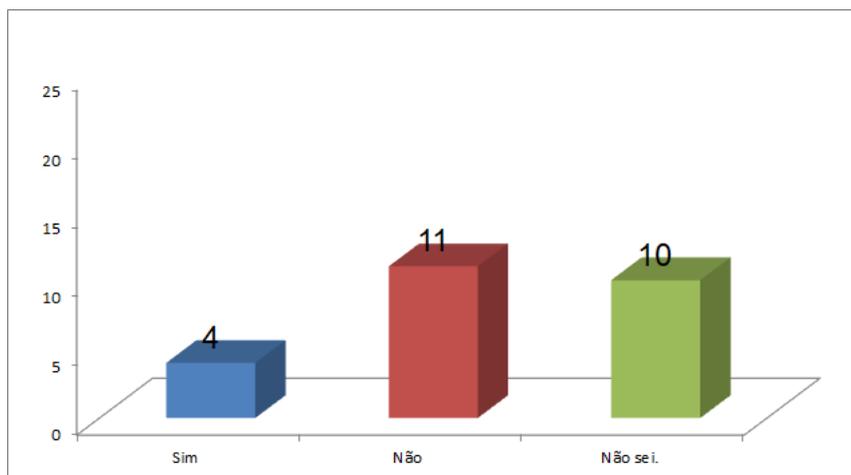
Gráfico 4: Qual a cor resultante da junção de luzes vermelha e verde numa superfície branca?



Fonte: autoria própria

A terceira pergunta questiona se um espectador numa sala escura pode notar a diferença entre um cenário vermelho, iluminado por luz branca, e um cenário branco, iluminado com luz vermelha e apresenta como opções de resposta: sim, não e não sei. O Gráfico 5 apresenta a síntese das respostas.

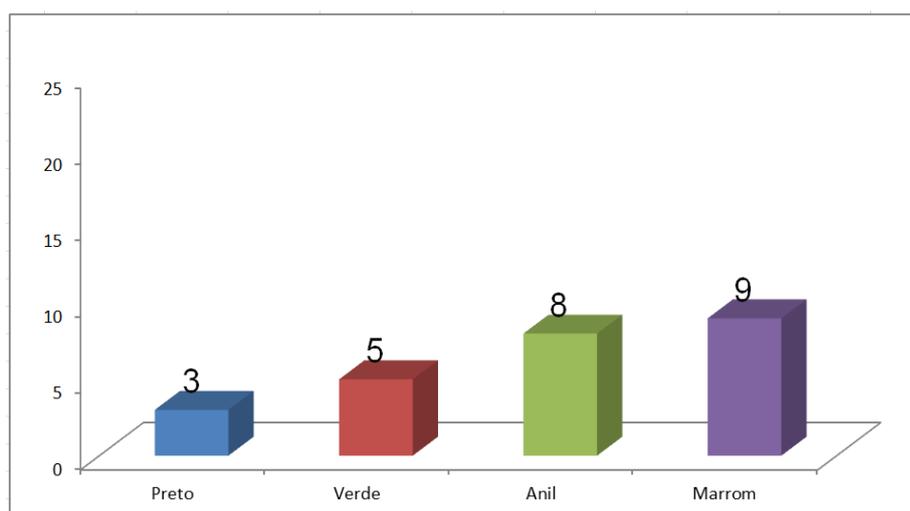
Gráfico 5: É possível identificar diferenças entre um cenário vermelho iluminado por luz branca e um cenário branco iluminado por luz vermelha?



Fonte: autoria própria

A quarta pergunta é bastante recorrente em testes de Física e questionava sobre a cor do retângulo da Bandeira brasileira quando esta for iluminada por uma luz monocromática azul. As respostas foram bem diversificadas, três alunos disseram que seria preta, cinco marcaram a cor verde, oito disseram que era a anil e nove acreditavam que seria marrom. O Gráfico 6 apresenta a síntese das respostas dos alunos.

Gráfico 6: De que cor será visto o retângulo da bandeira brasileira quando for iluminado por uma luz monocromática azul?



Fonte: autoria própria

Como ressaltado no início desta seção, as questões apresentadas na primeira aula tiveram o intuito de fazer um breve mapeamento do conhecimento prévio dos alunos. Com isso, verificamos que apesar de ainda não terem um

conhecimento sistematizado da matéria, os alunos já apresentavam algumas concepções adequadas sobre as relações entre luz, cor e visão. Apesar disso, quando solicitados a utilizar esse conhecimento para responder ao questionário apresentado anteriormente, verifica-se que há certa dificuldade em transpor esses conhecimentos para questões de avaliações formais sobre o tema.

4.2.2 Descrição da aula 2 – Classificação dos meios de propagação da luz

Para esta aula considerou-se alguns objetos para que os alunos pudessem classificá-los quanto ao tipo de meio de propagação da luz. Sabe-se que a luz se propaga no vácuo e em outros meios materiais. Esses meios comportam-se de forma distinta ao serem atravessados pelos raios de luz, ou até mesmo podem impedir sua propagação. Os livros didáticos apresentam três classificações:

a) Meio Transparente: permite a passagem da luz de modo que podemos ver com nitidez os objetos através dele. Exemplo, vidro, papel celofane, ar.

Figura 13: Material utilizado para indicar meio transparente



Fonte: autoria própria

b) Meio translúcido: permite a passagem de parte da luz de forma irregular, espalhando e absorvendo a luz, como no caso do vidro fosco e do papel vegetal. Através deles percebemos certa luminosidade, mas não enxergamos os objetos com nitidez.

Figura 14: Exemplo de material utilizado para representar meio translúcido



Fonte: autoria própria

c) Meio Opaco: não permite que a luz se propague através deles. Não se consegue enxergar um objeto que esteja atrás de um meio opaco. Exemplo: madeira, tijolo.

Figura 15: Exemplo de material utilizado para representar material opaco



Fonte: autoria própria

Os materiais descritos anteriormente foram apresentados aos alunos que foram questionados sobre as propriedades ópticas desses materiais. Também foi feita a leitura de textos sobre o tema (SANT'ANA, et al, 2010; TORRES, 2013; BÔAS; DOCA e BISCOLA, 2017)

No decorrer da aula, os alunos fizeram várias perguntas sobre como poderíamos usar aqueles objetos numa aula de ótica. Como as aulas acontecem no período noturno, apagamos a luz da sala e acendemos uma lanterna. Começamos a discutindo a seguinte questão: o que vocês estão vendo através do papelão? Logo fizemos a comparação com os outros materiais: o plástico transparente, o vidro e,

por fim, um papel vegetal. A partir dessa demonstração os alunos começaram a construir uma concepção do que seriam meios transparentes, translúcidos e opacos.

Na discussão os alunos chegaram à conclusão de que os materiais abordados possuíam características diferenciadas em relação à propagação da luz e, por isso, apresentam resultados distintos.

4.2.3 Descrição da Aula 3 - Construção do disco de Newton (Parte 1)

A aula foi iniciada com um questionamento sobre as cores do arco-íris. De onde vêm essas cores? A partir dessa pergunta os alunos foram indicando as cores que eles consideravam visíveis no arco-íris. Todas as cores foram sendo registradas no quadro até completar as sete cores que, em geral, conseguimos enxergar.

Na sequência da aula os alunos foram divididos em pequenos grupos de três alunos. Para cada grupo foi entregue um conjunto de discos de papel divididos em sete setores proporcionais em formato de pizza (Apêndice C), e um pequeno kit de material com tinta guache, lápis de cor, papel colorido, mídia de CD, cola e barbante (FIGURA 16).

Os alunos foram orientados a colorir o Disco de Newton com as cores que eles mesmos haviam citado. A ideia era que cada grupo produzisse três discos coloridos com materiais diferentes: lápis de cor, tinta guache e papel colorido.

Figura 16: Kit entregue aos alunos para a construção dos Discos de Newton



Fonte: autoria própria

No caso da tinta guache os alunos tiveram que fazer algumas misturas para obter as cores necessárias. Isso gerou alguns questionamentos em relação ao comportamento dos pigmentos quando misturados. No caso dos papéis coloridos os alunos tiveram que colá-los nos setores indicados no modelo do disco. No final da atividade cada grupo tinha que apresentar os 3 discos.

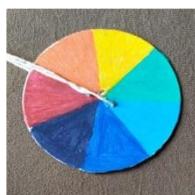
Figura 17: Alunos construindo os discos de Newton



Fonte: Elaborada pela autora

Os alunos se mostraram bastante empolgados com a atividade. Havia uma expectativa de que o somatório de todas as cores, quando o disco fosse girado, resultaria no branco, mas muitos duvidavam disso. Como não deu tempo para o disco pintado com guache secar, o material foi recolhido e o término da atividade ficou agendado para próxima aula. A Figura 18 mostra os três modelos de discos construídos pelos alunos.

Figura 18: Discos de Newton: (a) tinta guache; (b) lápis de cor; (c) papel colorido



(a)



(b)



(c)

Fonte: autoria própria

4.2.4 Descrição da aula 4 - Construção do disco de Newton (Parte 2)

Retomando a aula anterior, pedimos para que os alunos terminassem de construir seus discos. Também foi solicitada a elaboração de um quarto disco usando apenas três cores: vermelho, verde e azul. Isso foi necessário porque um aluno

relatou que não estava obtendo o resultado esperado e achava que era porque tinha muitas cores misturadas. Os discos coloridos eram colados em uma mídia de CD, previamente preparada com dois furos pelos quais passava-se o barbante que faria o disco girar (Apêndice C)

Ao girar o disco os alunos puderam observar o que acontecia com a sua coloração. Na Ilustração 19, retratamos o efeito obtido em cada disco. Nesse momento, questionamos os alunos sobre o que estava acontecendo com as cores dos discos.

Figura 19: Efeitos das cores nos diferentes discos de Newton girando



a) Disco pintado com tinta guache



b) Disco feito com colagem de papéis coloridos



c) Disco colorido com lápis de cor



d) Disco colorido com três cores

Fonte: autoria própria

Após o experimento os alunos ficaram brincando com os discos, quando começaram a observar com mais atenção a tonalidade da coloração. Para alguns as cores misturadas eram as mesmas, apenas mais escuras, no caso do disco pintado com guache, ou mais claras, no caso dos discos coloridos com lápis de cor. A discussão desses resultados será feita na próxima seção.

Os alunos foram questionados também sobre o porquê de o disco com as três cores ter ficado com uma cor próxima do branco, já que a luz é supostamente composta por várias cores. Neste momento, o aluno A respondeu que era porque essas cores (vermelho, verde e azul) são primárias, e ainda questionou que o amarelo não estava entre as cores primárias na Física e se isso era diferente em Artes.

4.2.5 Descrição da aula 5 - Decomposição da luz branca através do prisma

Para consolidar os conhecimentos adquiridos na aula anterior, procuramos fazer um experimento que tivesse o efeito contrário, ou seja, obter as cores que compõem o arco-íris a partir da luz branca. Para isso, utilizamos um prisma de cristal polido e fontes de luz de uma lanterna comum e de uma luz de celular.

A atividade teve início com a provocação da turma por meio da seguinte pergunta: Como é formado um arco-íris? Feito isso, abrimos o debate com os alunos deixando que cada um relatasse a sua opinião. Logo após a discussão, chamamos a atenção de todos para que observassem sobre a mesa alguns objetos que seriam utilizados no experimento. A partir daí, teve início o experimento demonstrativo.

A ideia era de que os alunos, utilizando os materiais preparados previamente, conseguissem de maneira intuitiva decompor a luz branca nas cores do arco-íris. Depois de várias tentativas com a luz da lanterna, os alunos encontram alguns espectros de cores, mas nenhum com todas as cores do arco-íris. Então, um dos alunos sugeriu que repetissem o experimento, utilizando a luz branca do celular, o prisma e um pedaço de uma folha de papel A4, enrolado na forma de um canudo para direcionar a luz até o prisma. A Figura 20 ilustra o material utilizado no experimento.

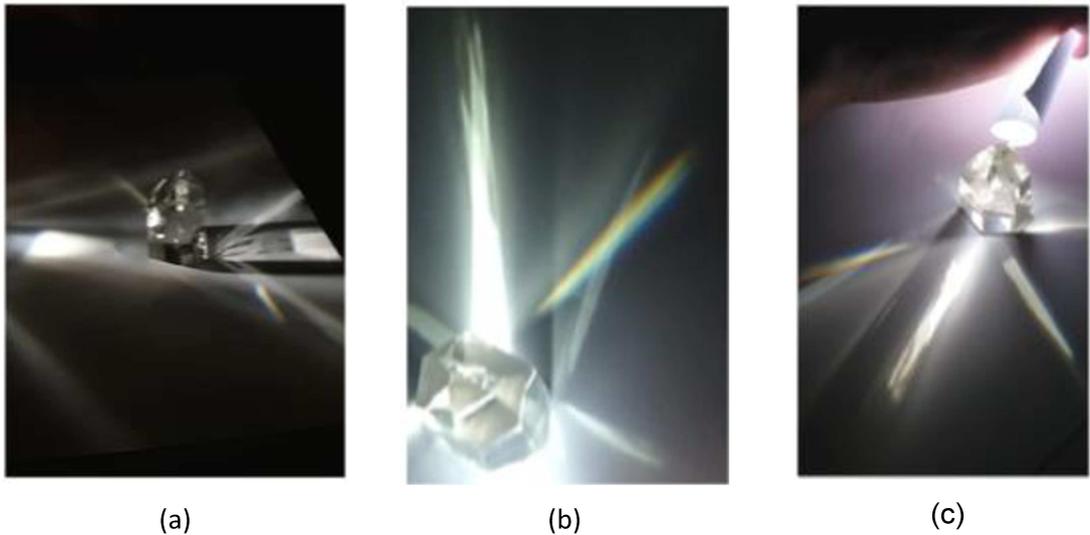
Figura 20: Material utilizado na atividade de decomposição da luz



Fonte: autoria própria

Com a luz da sala apagada, todos puderam enxergar com nitidez as cores do arco-íris na decomposição da luz branca através do prisma, e perceberam que, mesmo sendo noite, era possível observar um fenômeno semelhante ao do arco-íris. Isso foi importante porque na fase de debates alguns alunos relataram que só seria possível enxergar o arco-íris se fosse de dia e se houvesse chovido. A Figura 21 mostra algumas fases desse experimento.

Figura 21: Dispersão da luz branca através de um prisma

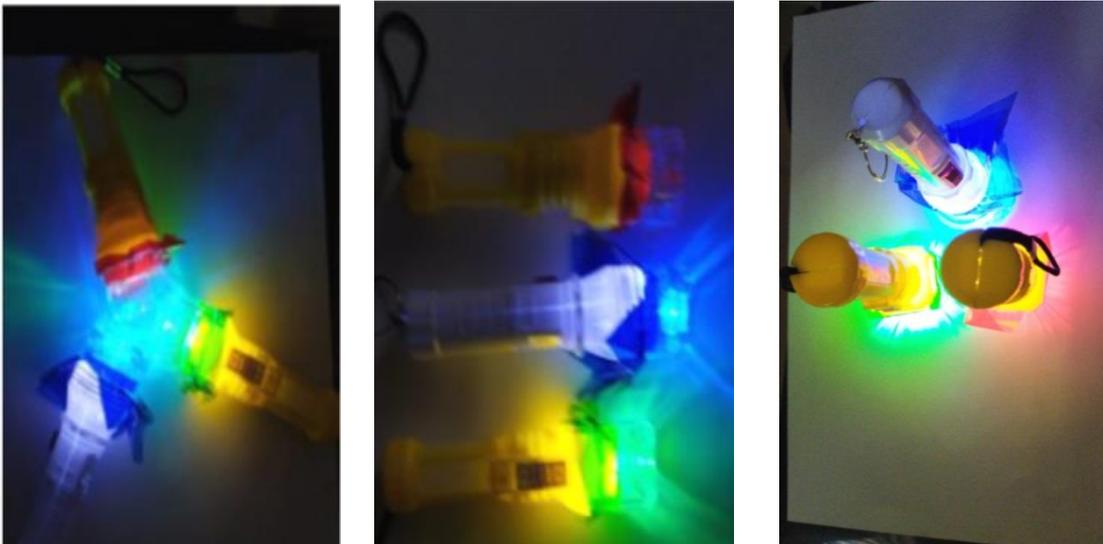


Fonte: autoria própria

4.2.6 Descrição da aula 6 - Caixa de cores: problematizando as cores dos objetos

Esta atividade teve por objetivo problematizar a noção de cores que os alunos possuem. A maioria das pessoas entendem as cores como uma propriedade dos objetos, por isso procuramos elaborar uma atividade em que isso pudesse ser questionado. Para isso, foi construída uma caixa em que os objetos colocados em seu interior pudessem ser observados iluminados por fontes de luz de cores diferentes. Antes de chegar ao modelo apresentado aos alunos, fizemos algumas experimentações para identificar qual o melhor dispositivo para obter os resultados desejados. A primeira tentativa foi utilizando lanternas recobertas com papel celofane, conforme mostra a Figura 22. Porém, o resultado não foi satisfatório.

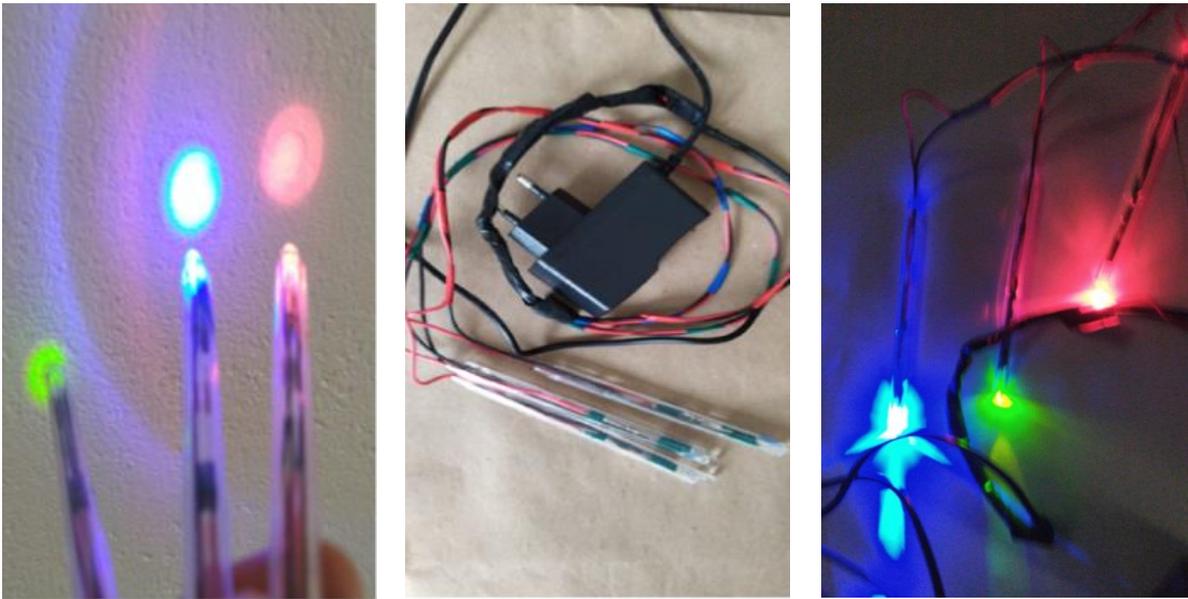
Figura 22: Lanternas recobertas com papel celofane



Fonte: autoria própria

Na sequência, decidimos tentar usar luz de LED. Montamos dispositivos utilizando o corpo de uma caneta vazia para compor lanternas de LED, nas cores azul, vermelho e verde, conforme mostra a Figura 23. Mais uma vez o resultado não foi satisfatório.

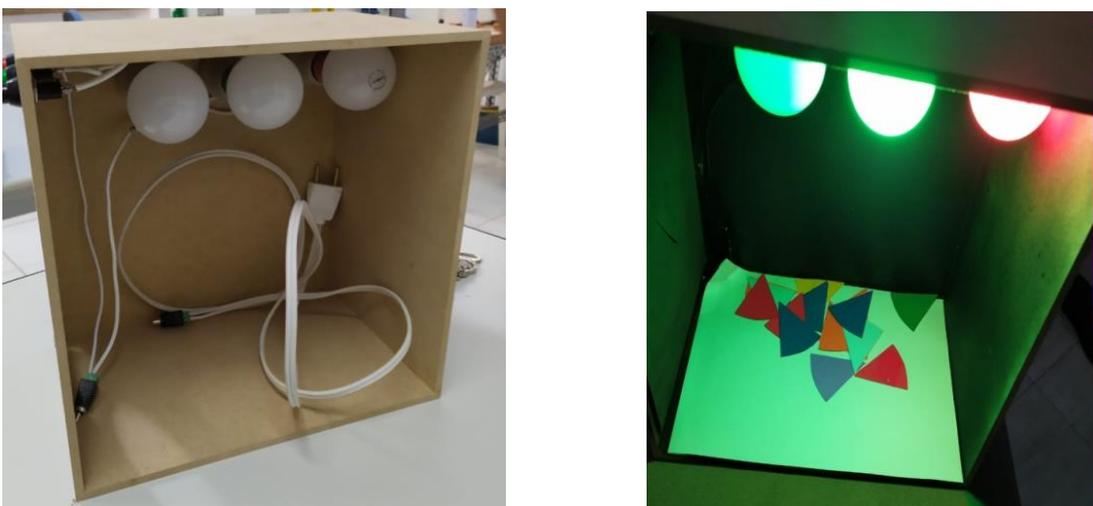
Figura 23: Lanternas feitas com canetas de LED



Fonte: autoria própria

Por fim, passamos a construção da caixa de cores. A primeira foi construída usando uma caixa de papelão e três lâmpadas de cores diferentes (vermelha, azul e verde). O resultado desse dispositivo foi bem melhor que os anteriores e serviu de protótipo para elaboração de uma nova caixa de MDF. Nessa nova caixa foi instalado um circuito elétrico que permitia combinações de cores, acendendo as lâmpadas de forma independente (Figura 24).

Figura 24: Caixa de cores



Fonte: autoria própria

Para obter melhor resultado, pintamos a parte interna da caixa de preto. Isso melhorou significativamente a observação das luzes incidindo sobre os objetos colocados no interior da caixa.

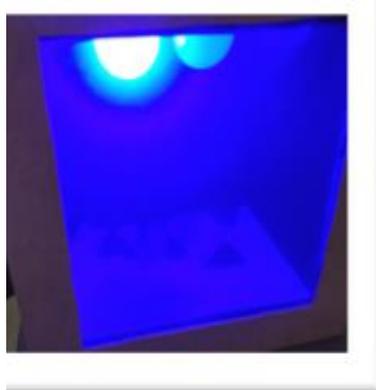
Começamos a aula perguntando aos alunos se alguém já tinha visto um objeto mudar de cor? Ou se eles achavam que isso era possível de acontecer. A partir das respostas dos alunos, escrevemos no quadro: “o que vemos pode mudar de cor quando iluminado com uma luz colorida”?

Abriu-se então o debate deixando que cada aluno relatasse suas opiniões. Após a discussão, pedimos que observassem os objetos sobre a mesa do professor, que seriam utilizados para verificar testar as hipóteses levantadas na discussão. Iniciada a experimentação, apesar das possibilidades oferecidas, os alunos, de maneira intuitiva, não conseguiram fazer os objetos mudarem de cor. Intervimos na atividade, e orientamos para que usassem a caixa de MDF.

Utilizando a lâmpada de cor vermelha os alunos perceberam que objetos de outras cores ficavam escuros e aqueles que eram de cor vermelha permaneciam da mesma cor. Assim eles puderam perceber que com a mistura das luzes de cores diferentes, eles também poderiam obter outras cores, como o magenta e o ciano. A figura 25 mostra algumas fases do experimento.

Por meio do experimento da caixa de cores procurou-se explorar conceitos de aprendizagem de Ausubel e Lipman baseados nas habilidades de raciocínio, formação de conceitos, investigação e tradução. Além disso, buscou-se também explorar os conhecimentos prévios dos alunos que constituem, na perspectiva de Ausubel, os subsunçores norteadores da aprendizagem significativa.

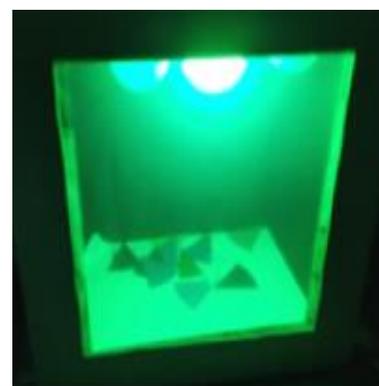
Figura 25: Caixa de cores iluminada com luzes diferentes



(a) Azul



(b) Vermelha

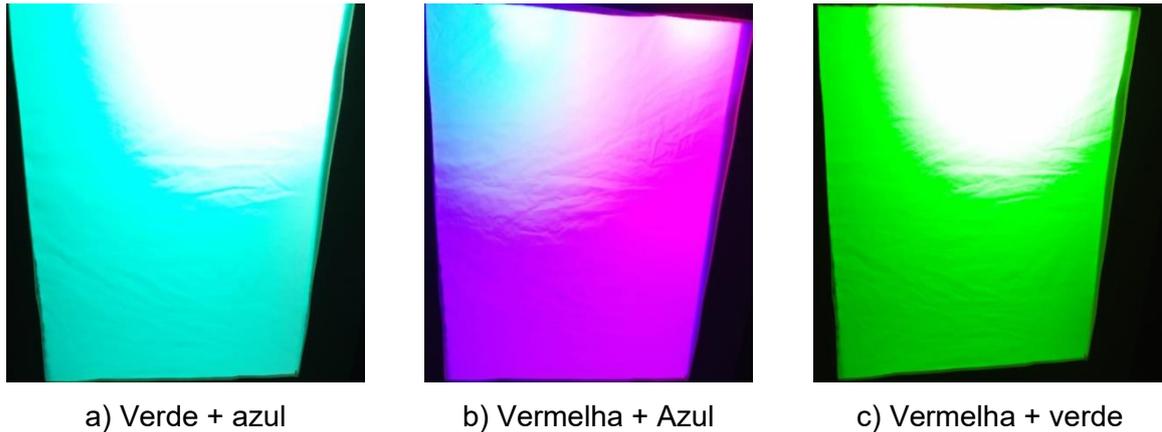


(c) verde

Fonte: autoria própria

No decorrer da aula os alunos demonstraram muita curiosidade sobre o tema, fazendo várias combinações com as placas confeccionadas de materiais diferentes e usando plástico de cores diferentes – a cor preta do saco de lixo, a cor branca da sacola de supermercado, os papéis celofane de cores vermelha, verde e azul e plástico transparente. A Figura 26 mostra outras fases desse experimento.

Figura 26: Misturando luzes de cores diferentes



a) Verde + azul

b) Vermelha + Azul

c) Vermelha + verde

Fonte: autoria própria

No início da atividade a luz da sala estava acesa para que os alunos pudessem observar a luz refletia nos pedaços de papéis coloridos. Depois de alguma discussão, apagamos a luz da sala para que eles pudessem ver com mais clareza a diferença entre um cenário vermelho, iluminado por luz branca, e um cenário branco, iluminado com luz vermelha. Assim puderam se divertir com as variações das cores ocasionadas pela modificação da luz incidente.

4.2.7 Descrição da aula 7 - Tornando um objeto invisível

À primeira vista, esta atividade pode parecer desconectada do restante da sequência didática, pois não aborda a relação entre luz e cor. Porém, sua inserção foi motivada pelo fato de ela permitir explorar uma situação em que mesmo na presença de luz não podemos ver um objeto, colaborando para uma apreensão significativa do conteúdo explorado.

Iniciamos a aula fazendo com o seguinte questionamento: alguém já viu algum objeto sumir (desaparecer), isso seria possível? “O que vemos pode mudar”? Se pode, como? Em seguida, abrimos a sessão de debates, e deixamos que os alunos relatassem suas opiniões. Logo após a discussão, pedimos que os alunos

observassem sobre a mesa os objetos que seriam usados na experimentação (copo e garrafa pequena de vidro, e glicerina). O desafio era que os alunos tentassem tornar a garrafa de vidro invisível.

Iniciada a atividade, apesar de os alunos terem usado todos os materiais disponíveis, não conseguiram encontrar o resultado desejado. Após várias tentativas, um dos alunos teve a ideia de colocar a glicerina dentro da garrafa, depois um pouco no copo até a metade e, em seguida, colocou a garrafa dentro do copo e a parte desta que entrou no copo desapareceu (Figura 27). Os alunos ficaram encantados com o fenômeno observado, e o associaram aos truques de mágica que eles viam na TV e na Internet. E daí surgiu a pergunta, como isso pode acontecer?

Figura 27: Experimento da garrafa invisível



Fonte: autoria própria

Para explicarmos aos alunos o porquê de o objeto desaparecer quando mergulhado na glicerina era necessário antes que eles entendessem que a velocidade da luz era influenciada pelo meio de propagação.

Finalizamos a aula lembrando aos alunos que, muitas vezes, o que parece ser um truque de mágica é na verdade um fenômeno físico que possui uma explicação científica. Nesta aula tive a certeza de que se tivesse trabalhado o conteúdo de forma tradicional (apenas com a explicação do professor), a percepção e o entendimento dos alunos sobre o efeito óptico observado não teriam alcançado o mesmo sucesso. Eles não estavam ali decorando fórmulas, mas vivenciando uma experiência, que favoreceu a construção de um sentido para o aprendizado que eles obtiveram.

5 ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Neste capítulo será realizada a análise da sequência didática cujo principal objetivo era possibilitar aos alunos compreender fenômenos envolvendo luz e cor no ensino de Física. Para tanto foram realizadas atividades que não só possibilitassem o aprendizado dos alunos, mas que também permitissem observar seus conhecimentos prévios e explorar a capacidade de argumentação e questionamento no gerenciamento da própria aprendizagem. Conforme Moreira (2017), esse fato está relacionado aos pressupostos básicos da aprendizagem crítica, que é estimulada pelo questionamento – ao invés da memorização de respostas conhecidas – pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno.

Nesse sentido, procuramos analisar a SD também de forma crítica no sentido não só da validação das atividades propostas, mas também da revisão e do aprimoramento do material produzido para possíveis aplicações futuras. A SD foi construída a partir de experiências simples, geralmente encontradas em livros didáticos de Física, revisitadas numa perspectiva investigativa que possibilitasse o trabalho em grupos pelos alunos e a atuação do professor como mediador do processo de ensino e aprendizagem (SILVA; SILVEIRA, 2012).

A ideia base surgiu a partir do questionamento da forma como o conteúdo de luz e cor é tratado nos livros didáticos de Ensino Médio (SANT'ANA et al., 2010; NEWTON; HELOU; GUALTER, 2017; MÁXIMO; ALVARENGA, 2012) que trazem o conhecimento formal desse assunto baseado num modelo geométrico de propagação de raios de luz, distante do dia a dia dos alunos. Na visão de Pinho (2012) quando o aluno é inserido na escola este já traz consigo um conhecimento básico sobre as cores, construído a partir de suas vivências anteriores.

Por esse motivo, a primeira atividade proposta foi o levantamento das concepções prévias dos alunos sobre os conceitos de luz e cor, tendo como objetivo identificar suas percepções sobre o tema, e o quanto de senso comum há na relação que eles estabelecem entre a luz e a cor dos objetos. Para tanto, nos servimos de duas questões norteadoras: pedimos aos alunos para descrever com a maior quantidade de detalhes possíveis o processo que permite enxergar os objetos; e perguntamos por que os objetos possuem cores?

A partir dessas questões verificamos que grande parte dos alunos apresentam algumas ideias, de certa forma sistematizadas, sobre luz e cor: que para enxergar um objeto há necessidade de uma fonte de luz (10); que o objeto precisa refletir a luz (4); e que a cor surge a partir da luz que chega nos olhos (5). A seguir apresentamos algumas dessas respostas.

Resposta 1

1- Descreva, com maior quantidade de detalhes, o processo que permite a nós enxergar os objetos.
Podemos enxergar um objeto por causa da luz transmitida por ele, sendo refletida até os nossos olhos. Ao olharmos um objeto por vários ângulos podemos observar a cor que ele nos transmite.

Resposta 2

→ Descreva, com maior quantidade de detalhes, o processo que permite a nós enxergar os objetos.
Enxergamos os objetos a partir do momento em que a luz bate na nossa retina.

Respostas 3

Descreva, com maior quantidade de detalhes, o processo que permite a nós enxergar os objetos?
O que nos permite enxergar objetos é a luz que é uma onda de partícula;
O olho humano só enxerga em algumas frequências, a luz visível tem que estar dentro da frequência que vai do infravermelho até o ultravioleta.
Quando os raios de luz atingem os nossos olhos, eles precisam atravessar algumas estruturas até chegar a uma parte específica dos nossos olhos.

O resultado nos surpreendeu um pouco, pois, pelo fato de os alunos terem pouco conhecimento sobre o conteúdo, esperávamos respostas que não indicassem conhecimentos muito sistematizados. Ao mesmo tempo, isso reforça a importância de o professor conhecer o que o aluno já sabe antes de trabalhar um determinado conteúdo. De acordo com Silva Filho e Ferreira (2018), para que haja

melhor assimilação do conteúdo abordado em sala de aula, o aluno não pode ser visto como um espectador apenas, mas como alguém que faz parte do processo de ensino e aprendizagem.

Quanto à segunda questão, percebeu-se uma correlação direta com as respostas dadas ao questionamento inicial. Boa parte dos alunos (10) indicaram que os objetos possuem cores por conta da cor que é refletida por eles, corroborando a análise feita por uma parcela da turma, na primeira questão, que entendeu que enxergamos os objetos por conta da luz que chega aos nossos olhos. Talvez fosse interessante ter explorado com os alunos de onde vem esse conhecimento. Supomos que poderia ser dos conteúdos de Física ministrados no 9º ano do Ensino Fundamental, mas, infelizmente essa verificação não foi feita.

Por outro lado, quando analisamos as respostas apresentadas no questionário aplicado logo após o questionamento inicial verificamos que esse conhecimento prévio ainda não estava sistematizado de forma significativa. Nesse momento, quando verificamos as questões escolhidas para o questionário percebemos que elas contribuem para esta análise, mesmo pelo fato de serem questões fechadas, ainda permitem acessar o grau de compreensão dos alunos.

5.1 Análise da atividade de classificação dos meios de propagação da luz

Na atividade sobre os meios de propagação da luz o objetivo era verificar a concepção alunos sobre a interação da luz com meios opacos, transparentes e translúcidos. Já nesta primeira atividade começamos a perceber uma maior interação dos alunos, fato que nos chamou a atenção.

No início da atividade estávamos utilizando uma lanterna como fonte de luz. Assim que iniciamos a experimentação um aluno colocou a mão na frente do feixe de luz da lanterna e perguntou que tipo de meio era aquele (a mão)? Porque mesmo com a frente da lanterna tampada ainda era possível ver alguma luz emitida (lembrando que a sala estava escura, com as luzes apagadas). Tal pergunta demonstra a importância de uma proposta de ensino que possibilita e incentiva a participação dos alunos. Se nos atermos ao que é preconizado nos livros didáticos, o nosso corpo é um meio opaco e, por isso, não deveria permitir a propagação da luz. Porém, não era exatamente isso que os alunos estavam observando. Isso me provocou também enquanto professora. Na hora eu não tinha uma resposta para dar

à turma, o que serviu de elemento motivador para que no decorrer da aula outros questionamentos surgissem. Ao final compreendemos juntos que a classificação dos meios como opacos, transparentes e translúcidos é apenas uma aproximação da realidade e que existe interfaces entre esses meios.

5.2 Análise da atividade de construção do Disco de Newton

Na aula seguinte, foi apresentada aos alunos a proposta de construção do disco de Newton para estudar o fenômeno da superposição das cores. A ideia de propor a construção de discos com três tipos de pigmentação diferentes: lápis de cor, tinta guache e papel colorido, surgiu de um problema que eu própria enfrentei quando testava os materiais que poderiam dar o resultado descrito nos livros didáticos. Todas as propostas desse experimento indicam que ao girar o disco com certa velocidade ele ficará branco devido a superposição das cores. Porém, na prática, esse resultado é muito difícil de ser obtido. Há muitas nuances envolvidas no fenômeno que não são explicitadas na teoria.

Ao propomos esta atividade estávamos cientes do desafio que tínhamos pela frente. Quando os discos foram colocados para girar, a expectativa dos alunos era a mesma que a minha, ou seja, de que a sobreposição das cores levasse ao branco. Porém, conforme observado na Figura 19. Na maioria dos casos, isso não ocorreu. Chegamos a alguns resultados muito bons, com nos itens C e D da Figura 19, porém não era um branco convincente. Dentre as três opções de colorização, a que apresentou melhores resultados foi com o do lápis de cor. O interessante foi que este resultado não desmobilizou os alunos, que queriam compreender o que estava acontecendo. Ao final da aula um dos alunos nos desafiou, afirmando que construiria em casa um disco que fosse capaz de reproduzir a cor branca. Ele tentou cumprir o desafio, mas ainda assim só alcançou uma variação mais próxima do branco.

Foi solicitado que os alunos relatassem, de forma sucinta, porque as cores do disco mudavam quando ele estava girando. Alguns mencionaram que tinha a ver com a luz que os objetos refletiam. Aproveitamos a deixa, para perguntar por que a cadeira da sala era azul. Um dos alunos (B) disse que era porque a luz refletia na cadeira. Daí eu perguntei por que as outras cores não apareciam. Um colega (C) relacionou com o que acontecia com os materiais transparentes e falou que as outras cores estavam dispersas e que somente sobressaia a cor azul. O debate

prosseguiu até que chegássemos à conclusão de que o fenômeno estava relacionado à absorção e reflexão da luz, e que as outras cores eram absorvidas pela cadeira e por isso só conseguimos enxergar o azul.

Para verificar como os alunos estavam apreendendo o conhecimento, perguntei como eles explicariam o branco de um giz. Um aluno (D) respondeu que o branco reflete branco. Na sequência perguntei sobre o que acontece quando enxergamos o preto? Uma aluna (E) disse que o preto absorve todas as cores da luz, por isso não enxergamos nada. Questionei então de que cor era a luz que tínhamos na sala e os alunos responderam que era branca. Aproveitamos a oportunidade para sistematizar as ideias em torno do conhecimento que a atividade proporcionou.

Tal como aconteceu comigo, durante a execução do experimento os alunos ficaram frustradas com o resultado, que não era o esperado. Aproveitamos a oportunidade para debater sobre o processo de construção do conhecimento por meio da ciência, explicando que encontrar um resultado, mesmo que não seja o esperado, é um dado que precisa ser investigado.

No final, pedimos que os alunos descrevessem o que aprenderam na aula com suas próprias palavras. Ouvimos um aluno dizer que “mudar a cor dos objetos parece mágico, porque nunca pensei que todas as cores juntas pudessem dar a cor branca”. Segundo o aluno (F), “Podemos verificar que a luz branca é um somatório das cores do arco-íris. Após construir o disco, basta girá-lo rapidamente para ver que, quando em alta rotação, as diversas cores, juntas, compõem uma única cor: o branco”. Entendemos que essas respostas ainda refletem muito do modelo tradicional de ensino, mas consideramos que o processo que levou à construção delas repercute de forma significativa no aprendizado dos alunos. Isso é ressaltado em Silva Filho e Ferreira (2018), ao relacionar ao desenvolvimento da aprendizagem significativa crítica como uma forma de o aprendiz deixar de ser um receptor passivo de informações, se transformando num articulador que domina o conhecimento para obter os significados a serem apreendidos.

À medida que a sequência didática avançava fomos percebendo que os alunos participavam mais das aulas, questionavam mais e faziam mais observações. Com isso, percebemos uma grande mudança na dinâmica do processo de ensino e aprendizagem. Estávamos rompendo as barreiras de uma forma de aprender

passiva para um conhecimento construído por meio da observação, da investigação e da ação.

5.3 Análise da atividade de dispersão da luz branca

A atividade de dispersão da luz branca foi pensada com o intuito de fazer o processo inverso da atividade anterior, ou seja, demonstrar que é possível produzir um espectro de luz visível, com as cores do arco-íris, a partir da luz branca. Logo de início fomos questionados sobre como seria possível reproduzir as cores de um arco-íris à noite, sem a presença da luz do sol, visto que, o senso comum dos alunos associava as cores do arco-íris com a presença da luz do sol.

O material proposto para a experimentação era composto por uma caixa de sapato, com um bocal instalado na parte interna e uma fenda na lateral, fita isolante preta, uma folha de papel A4, um prisma e uma lâmpada. Com esse material os alunos tentaram de várias maneiras produzir o espectro de luz visível através do prisma, mas sem sucesso. Procurando interferir o mínimo possível na atividade, deixamos que eles testassem inúmeras vezes, até que um dos alunos resolveu usar a lanterna do celular como fonte de luz. Naquele momento percebemos que existiam dois tipos de luz nos aparelhos, em alguns a luz era amarela e em outros a luz era branca. Segundo a teoria descrita no livro didático (MÁXIMO; ALVARENGA, 2012, p. 219) “ao atravessar um prisma de vidro, um feixe de luz branca se decompõe, dando origem a um espectro colorido”. Porém, não era isso que estava ocorrendo.

Os alunos tentaram mais uma vez com a luz do celular, mas sem sucesso, até que o mesmo aluno que sugeriu o uso do celular teve a ideia de fazer um canudo com uma folha de papel, que poderia servir, em tese, para direcionar a luz da lanterna para o prisma (Figura 21c). O resultado também não foi bom, mas com a luz branca do celular eles conseguiram produzir a dispersão da luz e obter um espectro de cores próximo do desejado.

A ideia de “canalização” da luz surgiu de forma espontânea na classe e foi importante para o sucesso do experimento. Não havíamos atentado para isso antes, seguimos apenas as orientações contidas nos livros didáticos consultados. Assim, creditamos o bom resultado dessa aula ao engajamento dos alunos, que já haviam participado de outras três atividades da SD, e, naquele momento, já compreendiam

melhor a dinâmica do estudo, o que serviu de elemento motivador para continuar fazendo tentativas mesmo depois de as primeiras tentativas terem falhado.

5.4 Análise da atividade da Caixa de Cores

A experiência da Caixa de Cores tinha como proposição levar os alunos a compreenderem que a cor não é somente uma propriedade do objeto, mas que essa se deve também à interação da luz que o ilumina com os pigmentos que compõem a estrutura da sua superfície. Para essa atividade foram pensadas várias possibilidades de fonte de luz, como a utilização de lanternas revestidas com papel celofane (Figura 22) ou de lanternas *LED*, construídas com tubos de caneta (Figura 23). Porém, esses dispositivos não deram um resultado satisfatório. Depois de vários testes, o dispositivo que apresentou melhor resultado foi a caixa de cores (Figura 24) que permitia iluminar os objetos com luzes de diferentes cores.

A atividade na sala de aula já foi realizada diretamente com a caixa de cores. O desafio proposto aos alunos era que eles identificassem se a incidência de determinada luz sobre um objeto poderia alterar sua coloração. Durante a experimentação um fato inesperado chamou nossa atenção e dos alunos. Ao fotografar o experimento a cor refletida no objeto, que era a amarela, no registro do celular ficou verde. Nesse momento abrimos a proposição de uma investigação futura para explicar a diferenciação entre a cor vista diretamente a olho nu, e aquela que aparecia no display do celular, o que levou ao seguinte questionamento: de que forma os novos sistemas de captação de imagens, de dispositivos como os smartphones, influenciam nossa percepção de cores?

Concluindo essa experimentação fizemos um paralelo com as concepções prévias dos alunos, que julgavam que os objetos eram vistos por causa da luz que chegava aos nossos olhos. Nessa atividade os alunos puderam perceber que o processo nem sempre se dá dessa forma, pois, como foi demonstrado, se um dado objeto absorve toda a luz que incide sobre ele, você deixa de enxergá-lo. O debate permitiu construir com a turma novos modos de pensar, analisando o que nos permite enxergar, o objeto só se torna visível graças aos efeitos de sua interação com a matéria. Então, quando essa interação não possibilita a reflexão de luz, a informação do objeto não chega até nossos olhos, dando a impressão de que ele não está ali.

5.5 Análise da atividade do objeto invisível

A atividade do objeto invisível foi pensada no sentido de reforçar a ideia final da aula anterior e demonstrar que mesmo na presença da luz é possível tornar um objeto invisível. A atividade da garrafa invisível foi pensada no contexto da lógica estruturadora da sequência didática que, partindo das concepções prévias dos alunos sobre luz e cor, analisou a sobreposição de cores para a formação da cor branca; depois mostrou que a decomposição dessa luz branca pode evidenciar o espectro de cores através de um prisma, e que a percepção de cor tem a ver com luz que chega aos nossos olhos. Com isso, podíamos concluir que dependendo da forma como a luz interage na superfície de um objeto este pode até desaparecer. Foi por isso que propomos inserir essa última atividade.

A questão problematizadora foi: em que condições um objeto pode tornar-se invisível? Apresentamos o material aos alunos que fizeram várias tentativas até que alguém teve a ideia de encher a garrafa com glicerina (já haviam tentado antes com água), fazendo o a parte da garrafa com o líquido desaparecer. Dessa forma pode-se verificar uma quebra da visão pela inserção da glicerina, que levou à sensação de que o objetivo havia se tornado invisível.

A primeira constatação que fiz ao término da sequência didática foi de que apesar de todas as limitações que o ensino de Física em uma escola pública pode oferecer (falta de espaço adequado, material e equipamentos) ainda é possível, com criatividade e boa vontade, desenvolver um trabalho diferenciado que envolva os alunos e aumente o interesse deles pelos conteúdos de ensino.

O outro aspecto que chamou a atenção durante a aplicação das atividades foi o fato de os alunos mais tímidos, desatentos ou com maior dificuldade de aprendizagem passarem a participar mais efetivamente das aulas e, principalmente, dos experimentos. Eles não só participaram, mas também se divertiram e isso certamente fez com que a fixação do conteúdo se tornasse muito mais consistente no que diz respeito à aprendizagem proporcionada.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme sinalizado por diversos autores, o ensino e a aprendizagem de Física têm sido tomados como um grande desafio na Educação Básica. A compreensão da Física envolve muito mais do que a simples aplicação de fórmulas e teorias em exercícios e problemas. Os fenômenos do dia a dia, juntamente com a experimentação e a problematização do conhecimento estão ausentes das aulas tradicionais. Por isso, neste trabalho optamos por desenvolver uma proposta de ensino para o conteúdo de luz e cor alinhada a um modelo de ensino-aprendizagem, baseado nos princípios da Aprendizagem Significativa de Ausubel que pudesse despertar a curiosidade e o interesse dos alunos pelos conteúdos de ensino.

A proposta da Sequência Didática foi pensada para ter um caráter mais empírico, no sentido de favorecer o processo de ensino-aprendizagem por meio de uma abordagem mais lúdica e investigativa do conhecimento. Segundo Kishimoto (2002), o lúdico enriquece a experiência sensorial, estimula a criatividade e ajuda desenvolver as habilidades no aluno.

A partir das leituras sobre a Aprendizagem Significativa, nossa atenção em relação ao processo de aprendizagem dos alunos aumentou. Conforme salientam Silva Filho e Ferreira (2018), precisamos estar atentos às conexões necessárias entre os resultados esperados e a base teórica que fundamente as ações educativas para que os resultados sejam alcançados.

Referimo-nos, em particular, à perplexidade com que nós temos deparado com algumas concepções e propostas (pseudo) interdisciplinares, tanto no campo da produção científica e da prática escolar, quanto, especialmente, nos denominados “produtos educacionais”, que correspondem a propostas de intervenção didática/aplicação educacional decorrentes de pesquisas em programas de pós-graduação profissionalizantes, especialmente nas áreas de ensino (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p. 117).

Nesse sentido, procuramos realizar a análise dos resultados encontrados em nossa Sequência Didática, a partir das quatro habilidades necessárias à construção do Pensamento de Ordem Superior, descritas por Silva Filho e Ferreira (2018, p.113), a partir dos trabalhos de Lipman (1995):

1. Habilidade de raciocínio: Quando iniciamos o experimento da caixa de cores, os alunos observaram que só havia três tipos de plástico celofane, que eram o vermelho, o verde e o azul. No entanto um dos alunos questionou “por que não usar plásticos pretos ou brancos”? Foi a partir deste questionamento que

passamos a utilizar o saco de lixo e a sacola de supermercado, para observar como enxergar as cores por meio destes materiais.

2. Habilidade de formação de conceitos: Na classificação dos meios de propagação de luz, um aluno colocou a lanterna abaixo da palma de mão, e notou as camadas internas dela. Naquele momento o aluno afirmou que a “nossa mão é um tecido transparente, pois conseguimos observar os dois lados”. Na verdade, o que se via era a iluminação mais clara nas mãos, com uma cor avermelhada, que ressaltava pequenas veias.

3. Habilidade de investigação: Essa habilidade foi estimulada em todas as fases da SD. Por exemplo, quando um dos alunos pediu para levar um disco de Newton para a casa para refazê-lo, porque queria encontrar a cor branca. O aluno pintou novamente o disco usando três cores: vermelho, azul e verde. Ao girar encontrou uma cor mais próxima do branco, o que gerou novos questionamentos. Outro aluno testou o disco, também em casa, utilizando uma furadeira, com um giro mais rápido e o resultado encontrado foi o mesmo, ou seja, próximo do branco, ou um bege bem claro. Todas essas situações evidenciam esforços de investigação perante uma situação que contrariava a teoria apresentada nos livros didático, mostrando que o até mesmo o conhecimento sistematizado é passível de questionamento, e mesmo assim os alunos não desistiram de tentar.

4. Habilidade de tradução: Verificamos que após cada experimento os alunos estavam mais empolgados e tentavam realizar outras experiências com materiais diferenciados, sempre questionando aquilo que era observado. Por exemplo, na atividade de classificação dos meios de propagação da luz os alunos começaram a iluminar com a lanterna outros objetos encontrados na sala. Na experiência do prisma uma aluna questionou se as cores observadas na bolinha de sabão também faziam parte de um espectro de cores.

Paralelamente à aplicação da SD foram feitos também exercícios constantes nos livros didáticos que envolviam o conteúdo aplicado nos experimentos. Alguns alunos tiveram maior dificuldade em algumas atividades, outros já dominavam melhor a matéria, mostrando que a apropriação do conteúdo de ensino não é igual para todos os alunos.

Outro fato importante que surgiu durante a execução da SD foi a capacidade de lidar com a ansiedade dos alunos quando o resultado obtido não era o esperado. Para minimizar essa ansiedade, no caso do disco de Newton, por

exemplo, fizemos uma pesquisa sobre a cor branca em que se verificou que, além dos elementos utilizados, era preciso observar também a luminosidade da cor que está relacionado à intensidade de luz refletida, ou ao brilho da mesma. Nesse sentido, verificou-se a existência de uma escala acromática de Munsell que varia do preto absoluto (valor 0) ao branco absoluto (valor 10).

O Croma é a pureza da cor. Indica o grau de saturação da cor, ou seja, a pureza da cor em relação ao cinza. O croma varia de 0 (cores neutras: branco, cinza e preto) a 10 (cores mais vivas) em incrementos de duas unidades. Na carta de cores munsell para solos o componente croma está disposto horizontalmente iniciando-se em 1 e normalmente chegando até 8 em ordem crescente da esquerda para a direita de cada página (GUIMARÃES, 2016 p. 24)

Também foi observado que na época de Newton o experimento do prisma foi realizado pela fenda de uma janela, com um feixe da luz do sol. No caso da nossa sala de aula utilizamos luz de LED e luz fluorescente, o que pode ter interferido nos resultados obtidos.

Pode-se verificar que após a aplicação da SD, a maioria dos alunos passou a ter um desempenho melhor, no que diz respeito a produção de significados, e à prática do método investigativo, se aproximando daquilo que Lipman define como Pensamento de Ordem Superior. Infelizmente, devido ao tempo limitado em que esta pesquisa foi realizada, não tivemos a possibilidade de aprofundarmos na análise desse fator.

O entusiasmo pelo novo, a busca pelas descobertas, tornaram os alunos mais ativos e destemidos, mais participativos e questionadores. A matéria de Física deixou de ser um amontoado de equações ou fórmulas decoradas e passou a ser entendida como parte do conhecimento que nos ajuda a compreender os fenômenos do cotidiano.

Conforme sinalizado no capítulo que descreve a sequência didática, a habilidade de investigação científica passou a compor um novo saber aos olhos dos alunos, que passaram a entender a necessidade de colocar o conhecimento à prova e não apenas repetir aquilo que está escrito nos livros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme descrito no início deste trabalho, no geral, os alunos do Ensino Médio possuem uma dificuldade para assimilar ou entender questões voltadas para o aprendizado de Física. Em muitos casos a forma como essa disciplina é oferecida prioriza somente a aplicação das equações e a sua memorização para posteriormente serem aplicadas em exercícios e testes. Contudo, esse processo didático nem sempre oferece aos alunos um entendimento claro sobre o assunto, que com o passar do tempo acaba sendo esquecido. Por isso, entendemos que a Física aplicada em situações do cotidiano pode ser melhor entendida e absorvida pelos alunos. Mas, só isso não basta! É preciso também que o conteúdo de ensino seja organizado de uma forma que priorize o processo de aprendizagem dos alunos.

Mesmo não tendo um conhecimento formal das teorias científicas, os alunos possuem um conhecimento do mundo, a partir da sua vivência e história de vida, relacionado a diversas atividades diárias em que a Física está presente. Portanto, no contexto de um ensino que possa promover uma aprendizagem significativa, o professor deve procurar levar em conta esse conhecimento prévio que os alunos possuem como norteadores das ações de ensino.

Neste trabalho, a Sequência Didática desenvolvida se demonstrou eficaz quanto ao aspecto motivacional da classe, bem como no que diz respeito à construção de significados para o conteúdo de ensino a partir de um viés investigativo. Sendo assim podemos considerar que a SD, apresentada como um produto educacional do Apêndice A, está validada no que diz respeito à sua aplicabilidade e pertinência para servir de modelo metodológico para o ensino e aprendizagem de conteúdos de Física direcionados aos alunos do Ensino Médio.

Para que se pudesse alcançar os objetivos propostos no início desta dissertação, foi feita uma abordagem teórica sobre o tipo de metodologia aplicada ao ensino e ao aprendizado do conteúdo de óptica associado ao estudo da luz e das cores. Percebeu-se uma necessidade de retornar ao passado e observar como surgiram os primeiros conceitos e luz, como a luz era descrita pelos filósofos gregos, e a forma como era diretamente relacionada com a capacidade visual das pessoas, que de alguma forma absorvia a imagem que era processada pelo cérebro.

As cores também precisam ser compreendidas de uma forma mais ampla e profunda, pois suas raízes estão fortemente ligadas a questões culturais. Ao

observarem as hipóteses das cores os alunos podem ser estimulados com questões que indaguem sobre outros fenômenos do cotidiano, como o efeito causado pela iluminação de um teatro, ou de como os publicitários conseguem influenciar as pessoas a partir da escolha das cores ideias para cada tipo de estímulo. Por isso, fizemos uma breve análise de como o ser humano enxerga as cores, e o papel dos olhos nessa ação. Além disso, também tivemos que investir no estudo da relação entre cores e pigmentos.

Na abordagem didática da SD, o primeiro passo foi o levantamento das concepções prévias dos alunos por meio de duas questões norteadoras. Com isso, verificou-se que os alunos já possuíam alguma compreensão do assunto que seria abordado. O conhecimento dessas concepções certamente mudou a maneira como abordamos os alunos durante a execução da SD.

Para facilitar a compreensão dos alunos e promover uma aprendizagem significativa, foram privilegiadas atividades experimentais diferenciadas, que envolveram: a construção de um disco de Newton; a decomposição da luz branca em um prisma; a utilização de uma caixa de cores para observar a influência da iluminação nas cores dos objetos; e um experimento para fazer um objeto se tornar invisível. Os resultados dessa proposta, apresentados no capítulo anterior, indicam que houve uma apreensão significativa dos conteúdos de ensino por parte dos alunos e que também foram estimuladas habilidades que podem contribuir para o desenvolvimento de um Pensamento de Ordem Superior.

Este trabalho também contribuiu para a minha formação e prática docente, pois permitiu a abertura de novos olhares para as dificuldades encontradas pelos alunos nas aulas de Física. Ao observar como estes se mantinham atentos durante as atividades propostas na SD pude verificar como uma didática diferenciada, aplicada de forma correta, motiva e incentiva os alunos ao aprendizado.

No entanto, é importante frisar que toda experiência apresenta pontos fortes e fracos que interferem diretamente na ação do professor em sala de aula e que podem ser decisivos na adoção ou não de uma nova metodologia. No caso da SD que desenvolvemos, destacamos como pontos fortes: o entusiasmo dos alunos, uma maior participação e mais interesse pelos conteúdos de ensino, facilidade de aprendizado, a dinâmica da didática aplicada de forma fácil, e o envolvimento dos alunos com os experimentos. Como pontos fracos destacamos: a dificuldade em

encontrar alguns materiais, como o prisma de vidro e a montagem da caixa de cores, as brincadeiras, que fatalmente ocorrem durante uma aula mais dinâmica, a necessidade de transformar a sala de aula convencional no próprio laboratório de pesquisa, o que exige a movimentação das carteiras e seu retorno ao final da aula, e a inadequação do local para realização de algumas atividades, como o fato de a sala possuir somente uma tomada, dificultando a realização de experimentos que dependiam do uso de energia elétrica.

As atividades práticas exigem do professor uma predisposição maior para lidar com o inesperado, tanto em relação às perguntas que podem surgir dos alunos, quanto em relação aos resultados de experimentos, quando estes contrariam as expectativas. Outro conflito vivenciado, principalmente durante a realização dos experimentos, foi lidar com a desordem na classe. Quase sempre era necessário movimentar móveis e improvisar recursos, o que muda significativamente a rotina das aulas e dificultava o andamento da pesquisa. Também percebi que alguns alunos não gostam de aula experimental, preferem somente a leitura dos livros didáticos. No entanto, com o passar do tempo, os resultados foram surgindo e o interesse e a expectativa da maioria dos alunos foram aumentando significativamente.

Concluindo esta pesquisa-ação, em que fui professora e pesquisadora, corroboro com Moreira (1995) a ideia de que transformar o aprendiz em pesquisador é o caminho para transformar a postura do aluno por meio de um processo que promove sua adesão como construtor do próprio conhecimento. Ressalta-se que a vivência do aluno, quanto ao aprendizado, foi maior quando envolvidos na pesquisa, deixando de ser meros espectadores para atuarem como protagonistas da sua própria aprendizagem. O surgimento de novas ideias e conceitos trouxe motivação à alunos que eram tímidos e quase não participavam das aulas.

REFERÊNCIAS

- ARIZA, Rafael Porlan; HARRES, João Batista Siqueira. A epistemologia evolucionista de Stephen Toulmin e o ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, p. 70-83, jan. 2002. ISSN 2175-7941. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10055>. Acesso em: 06 jan. 2020.
- BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou; BISCOLA, Gualter José. **Física 2: termologiaondulatóriaóptica**. 2 ed. São Paulo, 2017
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; SASSERON, Lúcia Helena. Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. **Estudos Avançados**, vol.32, n.94, 2018. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/ea/v32n94/0103-4014-ea-32-94-00043.pdf>. Acesso em 06.jan.2020.
- CURCIO, Ítalo Francisco et al. **Cor luz-cor pigmento: a física e as artes**. 2013. Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-graduação da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/bitstream/tede/2073/1/Italo%20Francisco%20Curcio.pdf>. Acesso em 03/05/2020.
- FRAZER, Tom. **O guia completo da cor**. São Paulo: Editora Senac, São Paulo, 2007
- FRIEDMAN, Adriana. **Brincar: crescer e aprender**, o resgate do jogo infantil. Ed. Moderna: São Paulo, 2002.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**- 6. ed. - São Paulo: Atlas, 2007
- GIRCOREANO, J. P.; PACCA, J. L. A.O Ensino da Óptica na perspectiva de compreender a Luz e a Visão. **Cad.Cat.Ens.Fís.**, v. 18, n.1: p. 26-40, abr. 2001. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/807318/mod_resource/content/1/6687-20283-1-PB.pdf. Acesso em 16.out.2019
- GIRCOREANO, José Paulo; PACCA, Jesuína Lopes de Almeida. O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. **Cad.Cat.Ens.Fís.**, v. 18, n.1: p. 26-40, abr. 2001. Disponível em <https://docplayer.com.br/15219341-O-ensino-da-optica-na-perspectiva-de-compreender-a-luz-e-a-visao.html>. Acesso em 14. janeiro.2020.
- GUIMARÃES, Thalita Luzia Barros. **Determinação da cor do solo pela carta de Munsell e por colorimetria**. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- HALLIDAY, David. **Fundamentos de física: ótica e física moderna**. Vol. 4 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. Reimp. 2008

KISHMOTO, Tizuko Morchida. **Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação**. 6ª ed. Editora Vozes (org): São Paulo, 2002.

LONGO, Michele Marques. **Alfabetização Científica para alunos de ensino médio em encontros científicos da área de Biociências**: reflexões à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa Subversiva. Tese (Doutorado em Ciência) – Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2011.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Curso de física**. Editora Scipione. 1 ed. São Paulo, 2012.

MELCHIOR, Sandra Cristina Licerio; PACCA, Jesuína Lopes de Almeida. Concepções de cor e luz: a relação com as formas de pensar a visão e a interação da luz com a matéria. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004, Jaboticatubas, MG. Disponível em <http://www.ciencia.iao.usp.br/dados/epef/concepcoesdecoreluzarela.trabalho.pdf>. Acesso em 08.jan.2020

MELO, Débora Gusmão, et al. Os “daltônicos” e suas dificuldades: condição negligenciada no Brasil? **Physis Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, 24 1229-1253, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/physis/v24n4/0103-7331-physis-24-04-01229.pdf>. Acesso em 16.fev.2020

MORAN, José. **Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda**. 2015. Disponível em: <http://www2.eca.usp.br/moran/> Acesso em 10.out.2019

MORAN, José. **Mudando a educação com metodologias ativas** [Coleção Mídias Contemporâneas. Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens. Vol. II] Carlos Alberto de Souza e Ofélia Elisa Torres Morales (orgs.). PG: Foca Foto-PROEX/UEPG, 2015. Disponível em: http://www2.eca.usp.br/moran/wp-content/uploads/2013/12/mudando_moran.pdf. Acesso em 6.out.2019

MOREIRA, Marco Antônio. **A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel**. Monografia nº 10 da série Enfoques Teóricos. Porto Alegre. Instituto de Física da UFRGS. Originalmente divulgada, em 1980, na série "Melhoria do Ensino", do Programa de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino Superior (PADES)/ UFRGS, N° 15. Publicada, em 1985, no livro "Ensino e aprendizagem: enfoques teóricos", São Paulo, Editora Moraes, p. 61-73. Revisada em 1995. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3369246/mod_resource/content/1/Capitulo%202010%20-%20A%20teoria%20da%20aprendizagem%20significativa%20de%20Ausubel%20-%20Teorias%20de%20Aprendizagem%20-%20Moreira%20C%20M.%20A.pdf. Acesso em 16.out.2019

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica (Meaningful learning: from the classical to the critical view). In: **Conferência de encerramento do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Madrid, Espanha, setembro**. 2006. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/visaoclasicavisaocritica.pdf>. Acesso em 16 maio.2020

MOREIRA, Marco Antônio. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista/**Meaningful Learning Review, v.1, n. 3, pp. 25-46, 2011. Disponível em https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/pe_Goulart/Material_de_Apoio/Referencial%20Teorico%20-%20Artigos/Aprendizagem%20Significativa.pdf. Acesso em 15 de dezembro de 2019.

MOREIRA, Marco Antônio. **Unidades de ensino potencialmente significativas** – UEPS. Disponível em MOREIRA, Marco Antônio. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas UEPS. Instituto de Física – UFRGS, 2017. <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>. Acesso em 31 de janeiro de 2020.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica**. Vol. 4. 1 ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998

PEREIRA, Rafael José. **Sequência didática para o ensino de ondas eletromagnéticas no 9º ano do ensino fundamental por meio de uma situação problema**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Departamento de Física, Programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

PINHO, Edna Mara Veiga de. **Proposta de aula: Luz, cor e suas concepções alternativas**. Trabalho de instrumentação (Licenciatura em Física), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

RAMALHO JUNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os fundamentos da Física 2: Termologia/Óptica/Ondas**. 8. ed. São Paulo: Moderna, 2003.

RIBEIRO, Ana Rita, COELHO, Luis; BERTOLAMI, Orfeu; ANDRÉ, Ricardo. **Luz: História, Natureza e Aplicações**. Gazeta de Física, vol. 39 – n 1 / 2, p. 6-13, 2015. Disponível em <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/pdf>. Acesso em 07.jan.2020

SA, Luciana Passos; KASSEBOEHMER, Ana Claudia; QUEIROZ, Salette Linhares. Esquema de argumento de toulmin como instrumento de ensino: explorando possibilidades. **Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.** Belo Horizonte, v. 16, n. 3, p. 147-170, Dec. 2014. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21172014000300147&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 06 Jan. 2020

SALVETTI, Alfredo Roque. **A história da luz**. - 2. ed. rev. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

SANT'ANNA, Blaidi, et al. **Conexões com a física**. 1 ed. São Paulo: Moderna, 2010

SANTOS, Robson José dos e SASAKI, Daniel G.G. Uma metodologia de aprendizagem ativa para o ensino de mecânica em educação de jovens e adultos. **Rev. Bras. Ensino Fís.** vol.37, n.3, pp.3506-1-3506-9. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11173731955>. Acesso em 13 jan.2019

SASAKI, D. G. G.; JESUS, V. L. B. de. Avaliação de uma metodologia de aprendizagem ativa em óptica geométrica através da investigação das reações dos

alunos. **Rev. Bras. Ensino Fís** v. 39, n. 2, e2403, 2017 . Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-Acessoem 13.jan.2020.

SILVA, José Maria, SILVEIRA, Emerson Sena. **Apresentação de trabalhos acadêmicos**: normas e técnicas. 7^a ed. Editora Vozes, 2012.

SILVA FILHO; Olavo Leopoldino; FERREIRA, Marcello. Teorias da aprendizagem e da educação como referenciais em práticas de ensino: Ausubel e Lipman. **Revista do Professor de Física**, vol. 2, n. 2 2018. Disponível em <https://www.semanticscholar.org/paper/TEORIAS-DA-APRENDIZAGEM-E-DA-EDUCA%C3%87%C3%83O-COMO-EM-DE-E-Filho-Ferreira/4add3d1c8b1a1e9328b64b51e8affe4b930ddb2>. Acesso em 29.fev.2020.

SILVEIRA; M V, BARTHEM, R B. Disco de Newton com LEDs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 38, nº 4, e4502, 2016.

TIPLER, PaullAllem; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. Vol2 Eletricidade e magnetismo. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

TOMÉ, Rejane Maria. **O uso de algumas tecnologias como metodologia alternativa para o ensino de óptica: natureza da luz**. Artigo publicado em 2010. Disponível em http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernos/pde/pdebusca/producoes_pde/2010/2010_unicentro_fis_artigo_rejane_maria_tome.pdf. Acesso em 07.jan.2020

TOULMIN, Stephen. **La Comprension Hunama**. Tradução de Nestor Miguez. Madrid Alianza Editorial, 1977. In- LONGO, Michele Marques. **Alfabetização Científica para alunos de ensino médio em encontros científicos da área de Biociências**: reflexões à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa Subversiva. Tese apresentada ao Instituto Oswaldo Cruz como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência, Rio de Janeiro,2011.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger. **Ótica e física moderna**.14 ed. São Paulo: Pearson Education no Braisl, 2016.

APÊNDICE A – Produto Educacional

MNPEF MESTRADO NACIONAL
PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA
POLO 24 - UFJF / IF Sudeste-MG

Josélia Margarida de Paiva Bechtluft

PRODUTO EDUCACIONAL

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE LUZ E COR

Juiz de Fora
2020

Josélia Margarida de Paiva Bechtluft

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE LUZ E COR

Este produto educacional foi desenvolvido no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 – UFJF/IF Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Paulo Henrique Dias Menezes

Juiz de Fora
2020

Agradecimento:

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Apresentação

Caro(a) Professor(a),

Neste trabalho apresentamos uma Sequência Didática para o ensino de luz e cor, desenvolvida no âmbito do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como proposta de introdução ao conteúdo de óptica nas aulas de Física do Ensino Médio, mas que também pode ser utilizada para introduzir esse mesmo conteúdo no Ensino Fundamental.

Um dos desafios que se coloca ao ensino de Física na educação básica é o de possibilitar que o aluno compreenda essa ciência como algo mais do que uma simples sobreposição de fórmulas e teorias. A compreensão da Física é muito mais fácil quando se experimenta, na prática, aquilo que é ensinado nos livros. Para tanto, escolhemos a óptica, entre os inúmeros conteúdos que a Física oferece enquanto disciplina escolar, e mais especificamente o estudo da relação entre luz e cor, como tema norteador de uma proposta de ensino baseada nos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e da Teoria Educacional de Lipman, descritas de forma resumida mais adiante.

Esperamos que esta proposta possa ajudar a superar esse desafio e servir de inspiração para organização de outros conteúdos de Física, de forma a tornar a sua aprendizagem mais significativa e interessante para os alunos.

Sequência Didática para o ensino de luz e cor

A Sequência Didática (SD) apresentada a seguir aborda o tema luz e cor como introdução ao conteúdo de óptica e pode ser adaptada para outros conteúdos de Física. Conforme explicitado anteriormente, consideramos que a forma como esse tema é abordado no Ensino Médio contribui pouco para a compreensão de fenômenos que envolvem as relações entre luz e a cor no dia a dia dos alunos.

A organização da Sequência Didática foi orientada pela Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Tal escolha levou em consideração o caráter da autonomia e da centralidade que o aluno possui no âmbito dessa teoria. Na perspectiva da aprendizagem significativa o aluno é gestor da sua própria aprendizagem, que tem como ponto de partida os conhecimentos prévios que ele já possui sobre o tema de estudo. Esses conhecimentos servirão de base para a formulação de novos conceitos. Além disso, a investigação torna-se a base estruturante da aprendizagem.

Para elaboração da SD, inicialmente procuramos identificar experimentos e atividades sobre luz e cor propostos em livros didáticos. Procuramos selecionar aqueles que fossem de fácil execução em sala de aula e que possibilitassem a participação efetiva dos alunos. Finalizados esses procedimentos, deu-se início à fase de organização e estruturação da Sequência Didática apresentada no quadro a seguir.

Também foram elaboradas duas perguntas norteadoras e um teste, com cinco questões, para avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema. As perguntas norteadoras foram pensadas, com base nos objetivos da proposta, para fazer um levantamento do conhecimento prévio dos alunos sobre o tema luz e cor. Já o teste foi composto por questões recorrentes em livros didáticos e exames, sobre o mesmo conteúdo, para avaliar como os alunos fazem a transposição do conhecimento que eles expressam para a formalidade do conhecimento escolar. Essas questões podem ser reelaboradas e redefinidas de acordo com o propósito do(a) professor(a).

O intuito desta proposta é de que ela sirva de modelo e inspiração para que outros professores e professoras de Física, que também encontram dificuldades em ensinar essa disciplina, sintam-se estimulados a inovar suas práticas no sentido de proporcionar uma melhor compreensão dos conteúdos de ensino pelos alunos.

Quadro – Resumo da sequência didática sobre luz e cor

AULA	ATIVIDADE	MATERIAL UTILIZADO	OBJETIVOS	RESULTADOS ESPERADOS
1	Levantamento das concepções prévias dos alunos: aplicação do questionário.	Papel, lápis e caneta	Conhecer os conceitos prévios dos alunos a respeito do tema de estudo.	Reconhecer o nível de entendimento dos alunos sobre o conteúdo a ser estudado
2	Classificação dos meios de propagação da luz	Papelão, vidro, papel vegetal	Diferenciar meios transparentes, opacos e translúcidos	Identificar as propriedades de cada meio em relação à propagação da luz
3	Construção do disco Newton	CD, Disco de papel impresso com sete setores, lápis de cor, papel colorido, tinta guache, barbante	Construir Discos de Newton com vários tipos de pigmentação de cor.	Analisar as diferenças dos diversos tipos de pigmentação na composição das cores.
4	Explorando o Disco de Newton	Discos de Newton construídos pelos alunos	Mostrar a composição de cores nos diversos discos	Problematizar a composição de cores no disco de Newton: A luz branca é, de fato, a mistura de todas as cores?
5	Decomposição da luz branca num prisma	Lanterna de celular, papel, prisma de calcita	Mostrar a decomposição da luz branca através de um prisma	Problematizar os efeitos da decomposição e recomposição da luz branca.
6	Problematizando as cores dos objetos	Caixas de cores com lâmpadas coloridas, papeis coloridos	Mostrar a variação das cores dos objetos a partir da luz que incide sobre eles.	Entender que a cor não é somente uma propriedade do objeto.
7	Tornando um objeto invisível e aplicação de um novo questionário	Glicerina, copo e recipiente de vidro transparente.	Mostrar a importância da interação da luz com o objeto para torná-lo visível.	Entender que um objeto só se torna visível quando pelo efeito da luz sobre ele.

Fonte: autoria própria

A seguir apresentamos a sequência de planos de aula e os roteiros dos experimentos utilizados. Lembrando que atualizações podem ser feitas de acordo com as necessidades da turma ou do(a) professor(a).

PLANO DE AULA1: Aplicação dos Questionários

Plano de Aula 01

Turma: 2º ano do ensino médio

Tema: Ótica – aplicação de questionários

1- Tema: Levantamento prévio do conhecimento dos alunos sobre o tema luz e cor.

2- Justificativa: O primeiro passo para uma aprendizagem significativa é saber o que os alunos o tema de estudo

3- Objetivo Geral: Analisar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema luz e cor.

4- Objetivos específicos: Permitir que os alunos expressem suas ideias sobre a forma como enxergamos as cores dos objetos.

5- Metodologia: Iniciar com a aplicação das questões norteadoras: 1) Descreva com a maior quantidade de detalhes possíveis o processo que lhe permite enxergar os objetos; 2) Por que os objetos possuem cores?

É importante que o professor deixe claro que não se trata de uma prova e que as perguntas devem ser respondidas por escrito e individualmente. Reserve um tempo suficiente para que todos os alunos possam responder. Na sequência, deve aplicar o questionário (Ver sugestão na próxima página), indicando que se trata de um instrumento complementar e que também não tem o objetivo de avaliação.

As respostas dos alunos devem ser analisadas pelo professor e serviram se subsídios para a condução das demais atividades.

6- Recursos: Lápis, caneta, papel.

Apresentamos a seguir a sugestão de algumas questões que poderão ser utilizadas no questionário. Sugerimos que sejam adaptadas de acordo com acordo com a necessidade do Professor(a)

Questões Norteadoras:

- a) Descreva com maior quantidade de detalhes o processo que permite a você enxergar os objetos ao seu redor.
- b) Por que enxergamos os objetos com cores diferentes?

Questões sobre luz e cor:

- 1) É possível ver todas as cores em um arco-íris? () sim () não () não sei.
- 2) Em um espetáculo há um cenário branco. Projeta-se sobre um mesmo ponto deste cenário um feixe de luz vermelha e outro de luz verde.
 - a) No ponto onde os feixes se superpõem observa-se qual cor:
() branco () amarelo () marrom () não sei
 - b) Onde você imagina que esta cor é produzida?
() no espaço onde os feixes de luz se encontram
() no olho do espectador (sobre a retina)
() no cenário
() no cérebro do espectador.
- 3) Ao entrar em uma sala escura, um espectador pode notar a diferença entre um cenário vermelho, iluminado por luz branca, e um cenário branco, iluminado com luz vermelha? () sim () não () não sei.
- 4) Uma Bandeira do Brasil é levada a um quarto escuro, em seguida é iluminada por uma luz monocromática azul. Em que cor se apresenta o retângulo?
() Preto () Verde () Anil () Marrom
- 5) Em qual dos casos abaixo uma banana madura parecerá preta?
 - a) Quando iluminada com luz vermelha.
 - b) Quando iluminada com luz verde.
 - c) Quando iluminada com luz azul.
 - d) Quando iluminada com luz magenta.

PLANO DE AULA2: Classificação dos Meios de Propagação da Luz

Plano de Aula 02

Turma: 2º ano do ensino médio

Tema: Ótica - Classificação dos meios de propagação da luz

1- Tema: Propagação da luz

2- Justificativa: O propósito desta atividade é introduzir algumas ideias sobre os efeitos da interação da luz com objetos diversos para a compreensão de sua classificação em: transparentes (copos, janelas de vidro, lentes, prismas, água etc.), translúcidos (como papel vegetal, objetos de acrílico fosco e de plástico fosco, balão de ar cheio) e opacos (paredes, pratos, pessoas e outros objetos de uso cotidiano)

3- Objetivo Geral: Compreender as propriedades dos objetos que permitem classificá-los como: transparente, translúcido e opaco, em relação à interação com a luz.

4- Objetivos específicos: Explicar o que são objetos transparentes, translúcidos e opacos e reconhecer as diferenças entre eles.

5- Metodologia: Atividade prática de comparação do comportamento de diversos objetos em relação à luz incidente. Aplique as perguntas contidas no roteiro do aluno. Dê um tempo para que os alunos possam refletir e discutir sobre essas questões. Não as responda, pois a ideia é que o aluno vá construindo as respostas durante a evolução da sequência didática.

Na sequência faça a aplicação da parte prática. Organize o material de trabalho para pequenos grupos (4 ou 5 alunos). Caso não tenha material para todos os grupos, procure conduzir o experimento de forma demonstrativa, mas certifique-se de que todos possam participar. Cada grupo deve receber uma fonte de luz (lanterna) e amostras de materiais diversos (plástico, vidro, papelão, papel vegetal etc.). Como tarefa eles devem separar e classificar esses materiais de acordo com o comportamento de cada um em relação a incidência da luz. Não deve ser passado nenhum tipo de classificação a priori. A ideia é de que os alunos desenvolvam seu próprio modelo de classificação. No final deverá ser promovido um debate em que

será feita uma síntese da classificação obtida, procurando observar as características e o comportamento de cada material em relação à interação com a luz.

6- Recursos: Espelhos, lanternas, objetos opacos (como livros, mesas, cadeiras, porta de madeira), objetos translúcidos (como papel vegetal, objetos de acrílico fosco e de plástico fosco, balão de ar cheio) e objetos transparentes (como copo de vidro com água, vidro da janela, garrafa de vidro), régua, cartolina preta e fita adesiva.

7- Avaliação: A avaliação deverá ser contínua, ocorrendo em todas as etapas de desenvolvimento das atividades. Ao término da atividade, incentive os alunos a relacionarem seus conhecimentos antes e depois da aula, explicitando o que aprenderam. É possível avaliar também a participação e o envolvimento dos alunos durante a realização das atividades. Para isso, procure observar o empenho dos alunos na realização das tarefas, na interação em grupo e as conclusões que o grupo chegou em relação à atividade. Além dessas observações, podem ser feitas algumas perguntas relativas às habilidades desenvolvidas.

ROTEIRO PARA O ALUNO - Classificação dos Meios de Propagação da Luz

1- Introdução

Nesta etapa começaremos a trabalhar a importância da luz para enxergarmos os objetos. Iniciaremos com os seguintes questionamentos:

- Como nós conseguimos enxergar os objetos?
- Se não houver luz elétrica, como em um quarto escuro, por exemplo, mesmo com os olhos abertos, conseguimos enxergar?
- Além dos olhos, o que mais é necessário para que possamos enxergar?
- Por que enxergamos as cores?

2- Atividade prática

Material necessário:

- Placa de vidro;
- Tampa plástica;
- Papel vegetal;
- Papelão
- Placa de madeira
- Lanternas

Dependendo da disponibilidade outros materiais poderão ser utilizados.

Figura 28: Material para a atividade de classificação dos meios de propagação da luz



Fonte: autoria própria

3- Montagem do experimento: Com os materiais listados acima, procurem estabelecer uma forma de classificação dos diversos objetos em relação à propagação da luz. Procurem utilizar todos os materiais de forma criativa. Separem e classifiquem esses materiais de acordo com o comportamento de cada um em relação a incidência da luz. Como vocês descrevem o comportamento dos objetos em relação a interação com a luz?

Plano de aula 3: Construção do disco de Newton

Plano de Aula 03

Turma: 2º ano do ensino médio

Tema: Ótica - construção do disco de Newton

1 -Tema: Recomposição da luz branca

2- Justificativa: Esta aula tem a intenção de demonstrar e compreender a recomposição a luz branca a partir das cores que formam o arco-íris.

3- Objetivo Geral: Discutir a composição da luz branca a partir da mistura de luzes de diversas cores.

4- Objetivos específicos:

- Entender como funciona o Disco de Newton.
- Diferenciar misturas de luz e pigmentos na composição das cores que enxergamos.

5- Metodologia: Os alunos irão construir três discos de Newton, coloridos com materiais diferentes (lápis de cor, tinta guache, papel colorido). Inicialmente serão apresentados os materiais necessários e as instruções descritas no roteiro apresentado a seguir. Após a confecção dos discos, o professor deverá discutir os resultados com os alunos. É importante estar atento às situações em que os resultados não são o esperado. Aproveite essas situações para discutir as diferenças entre cor como pigmento e cor como luz. Procure explorar ao máximo a opinião dos alunos.

6- Recursos: Quadro, giz, lápis de cor, tinta Guache, pincel, água, cola branca, papéis coloridos, barbante, molde do disco de Newton e mídias de CD / DVD.

7- Avaliação: A avaliação deverá ser contínua, ocorrendo em todas as etapas de desenvolvimento das atividades. Ao final das aulas, peça aos alunos para relacionarem seus conhecimentos antes e depois da aula. Avalie também a participação e o envolvimento dos alunos durante a realização de todas as atividades.

ROTEIRO PARA O ALUNO –Construção do Disco de Newton

1- Introdução

Quais são as cores que compõem um arco-íris? Converse com seus colegas e faça uma lista dessas cores.

Nessa aula vocês irão construir três discos de Newton coloridos com materiais diferentes (lápiz de cor, tinta guache e papel colorido) para observar a composição dessas quando o disco está em rotação.

2- Material necessário

- 3 moldes de discos de papel com setores para colorir;
- Lápis de cor, tinta guache, pedaços de papel coloridos;
- 3 mídias CD/ DVD, com dois furos próximo do centro, feitos previamente, por onde irá passar o barbante;
- Cola, tesoura, pincel e barbante;

Figura 29: Material utilizado na construção do disco de Newton



Furos feitos previamente com prego quente ou ferro de solda.

Fonte: autoria própria

3- Montagem do experimento

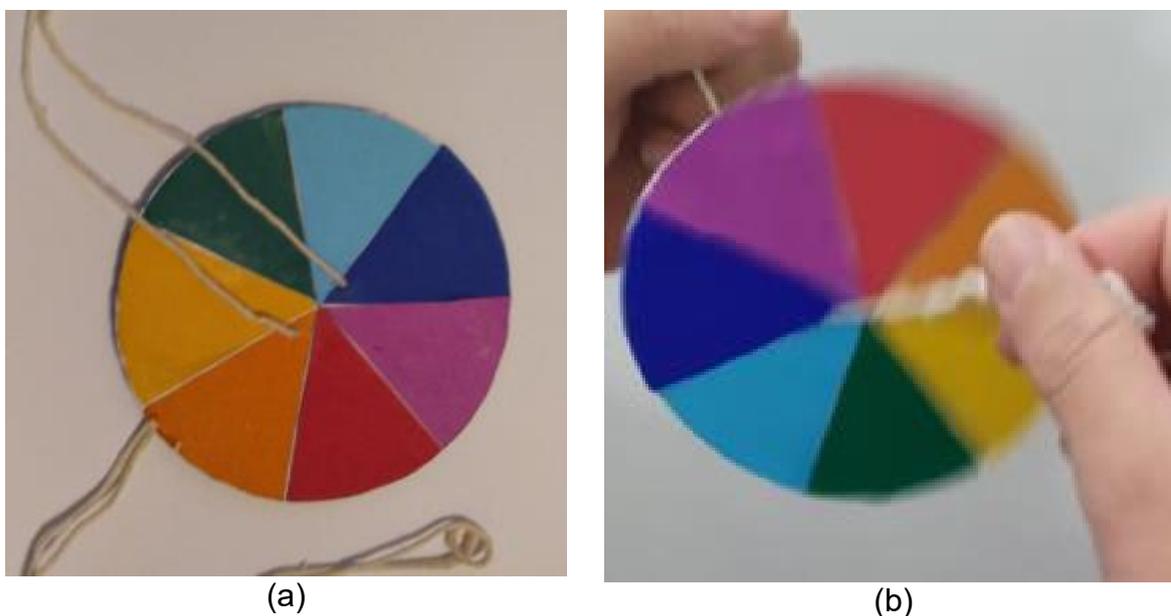
Use sua criatividade para confeccionar os discos de Newton, usando os materiais disponíveis.

Para confecção do disco:

1. Recorte os moldes da folha A4 (anexo) e colora os setores com as cores do arco-íris. Cada disco deve ser colorido com um material diferente (lápiz de cor, tinta guache, papel colorido).

2. Cole os discos coloridos nas mídias de CD/DVD e passe um pedaço de barbante (aproximadamente 1,5 metros) pelos furos feitos previamente na mídia (Figura 4.a). Junte as pontas e amarre.
3. Posicione a mídia no meio do barbante. Insira um dedo em cada extremidade do barbante e gire a mídia para torcer o barbante (Figura 4.b).
4. Puxe as extremidades fazendo o disco girar. Deixe enrolar para o outro lado, puxe novamente e assim sucessivamente fazendo a velocidade do disco aumentar.
5. Observe o que acontece com as cores enquanto o disco gira.

Figura 30: Confeção do Disco de Newton

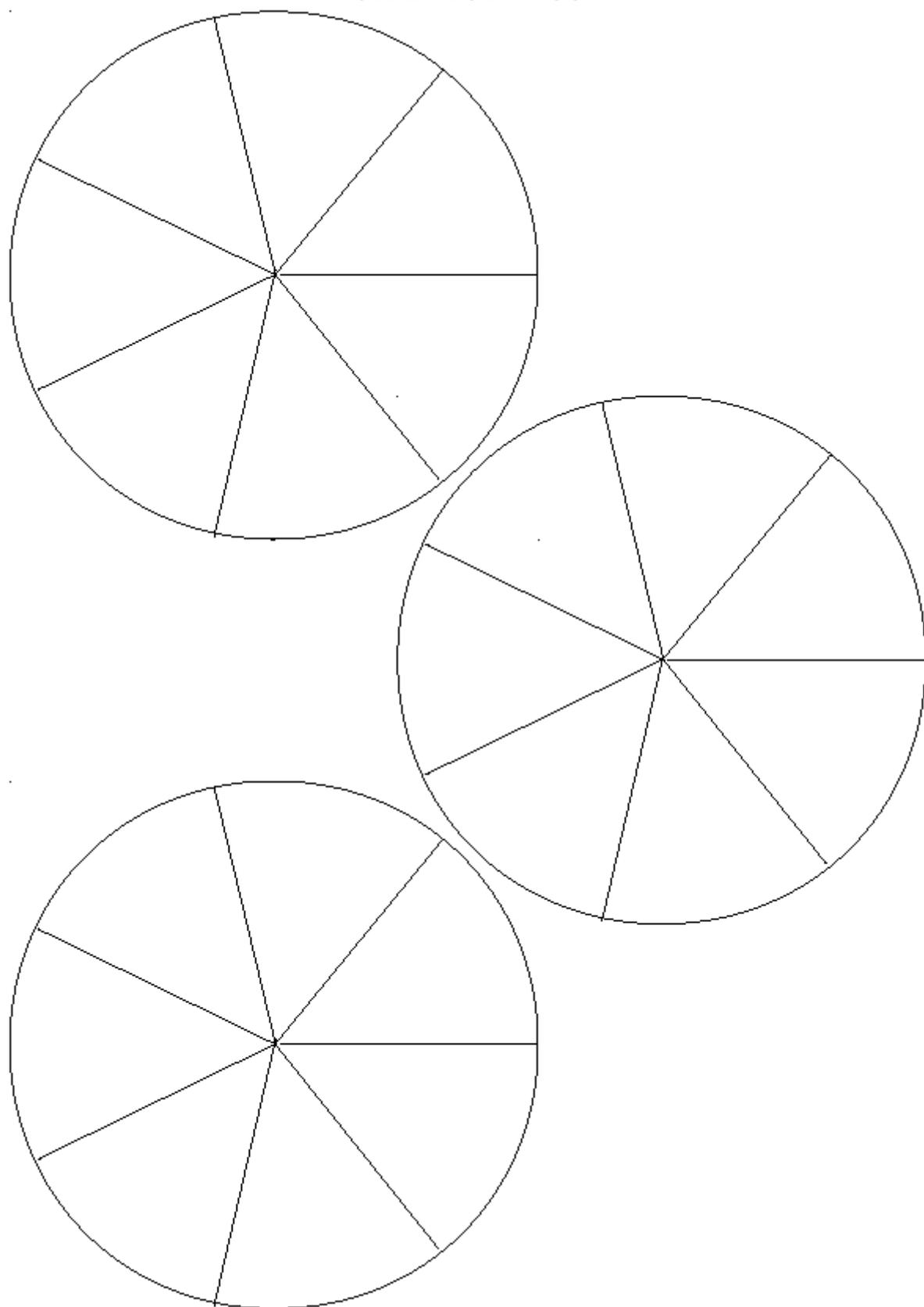


Fonte: autoria própria

Após a confecção e a exposição dos discos, responda os seguintes questionamentos:

- O que acontece quando o disco gira rapidamente?
- Qual é a cor que vocês enxergaram quando o disco está em rotação?
- É possível outras combinações de cores para obter resultados semelhantes?

MOLDES DOS DISCOS



Plano de aula 4: Decomposição da luz branca através de um prisma

Plano de Aula 04

Turma: 2º ano do ensino médio

Tema: Ótica – Decomposição da luz branca através do prisma

1 -Tema: Dispersão da luz branca

2- Justificativa: Esta aula tem a intenção de demonstrar que a luz branca é policromática, por meio da sua decomposição através de um prisma.

3- Objetivo Geral: Mostra que a luz branca é policromática.

4- Objetivos específicos:

- Mostrar que a luz branca pode ser decomposta em feixes de várias cores.
- Introduzir a ideia de refração da luz como fenômeno que provoca o desvio e a dispersão da luz em prismas e outros meios refringentes.

5- Metodologia: Inicialmente serão retomadas as questões anteriores sobre a composição da luz branca e a formação do arco-íris. Na sequência os alunos serão desafiados a decompor a luz branca nas cores que formam o arco-íris. Para isso, os materiais descritos no roteiro do aluno deverão ser dispostos sobre uma mesa, para que os alunos possam investigar sobre a melhor maneira de obter a dispersão da luz branca. Caso não haja material suficiente para o trabalho em pequenos grupos, o professor poderá optar por um experimento demonstrativo.

6- Recursos: prisma de vidro, folha papel A4, um celular (para utilização da lanterna), fita isolante, uma caixa de sapato, uma lâmpada LED, um copo com água, uma extensão.

Figura 31: Material necessário para o experimento de decomposição da luz



Fonte: autoria própria

6- Avaliação: Conforme frisado anteriormente, a avaliação deverá ser contínua, ocorrendo em todas as etapas da SD. Ao final da aula, o professor deverá solicitar que os alunos relacionem o que foi apreendido com os conhecimentos adquiridos nas aulas anteriores. Durante o desenvolvimento, procure observar o empenho dos alunos na realização da tarefa, a interação em grupo, as conclusões a que os alunos chegaram. Além dessas observações, podem ser feitas algumas perguntas relativas as habilidades desenvolvidas.

ROTEIRO PARA O ALUNO – Decomposição da Luz Branca através de um Prisma

1- Introdução

Nesta aula vocês irão construir um experimento para promover a dispersão da luz branca. Antes, porém, vocês deverão responder as seguintes questões:

- Por que o arco-íris é visto apenas quando o tempo está úmido ou chuvoso e com a presença dos raios solares?
- De onde vêm as cores observadas num arco-íris?
- Por que um lápis quando mergulhado em um copo de água parece estar quebrado?

2- Material necessário

- Uma fonte de luz (pode ser a lanterna de um celular);
- Uma caixa de sapato;
- Um prisma de vidro (pode ser adquirido em casas que vendem artigos esotéricos);
- Uma folha de papel branco A4;
- Um copo com água;
- Uma extensão (se for necessário).

3- Montagem do experimento

- Utilizando o material disponível tente decompor a luz branca nas cores que compõem o arco-íris.
- Caso não consiga, peça ajuda ao seu professor.
- Descreva o passo a passo do experimento que vocês montaram e os resultados obtidos.

Reveja as questões que você respondeu no início desta atividade.

PLANO DE AULA 5: Caixa de cores

Plano de Aula 05

Turma: 2º ano do ensino médio

Tema: Ótica – Caixas de cores

1 -Tema: Cores de um corpo

2- Justificativa: Esta atividade visa demonstra que a cor que um corpo apresenta não depende apenas das características do material que o compõe, mas também da luz que incide sobre ele.

3- Objetivo Geral: Demonstrar os elementos que definem a cor que observamos um objeto.

4- Objetivos específicos:

- Estabelecer relações entre luz e cor;
- Caracterizar e diferenciar cor luz e cor pigmento;
- Compreender os efeitos das relações de luz e cor em fenômenos do dia a dia.

5- Metodologia: Na condução desta aula o professor deverá problematizar a noção de cores primárias, secundárias e complementares em termos que pigmentos e de luz. Para isso, será utilizada uma caixa de cores, que permite iluminar diferentes objetos com luzes de cores diferentes. Por se tratar de um recurso mais difícil de se conseguir, sugerimos que a atividade seja feita como experimento demonstrativo. Mesmo assim procure incentivar a participação de todos os alunos.

A caixa de cores poderá ser confeccionada com caixas de papelão ou de MDF (que pode ser adquirida em papelarias e lojas que vendem materiais para artesanato). Para construção da caixa siga o roteiro passo a passo apresentado a seguir.

6- Recursos: caixa da MDF(30cm x 20cm x 20cm), 3 lâmpadas de LED (vermelha, azul e verde), 3 botões *Switch bottom* (vermelho, verde e preto), 3 bocais para lâmpada, fita isolante, cola quente, parafuso, tinta preta fosca, conector fêmea e macho, Eva preto, papeis celofane(vermelho, verde, azul),extensão.

7- Avaliação: A avaliação deverá ser contínua, ocorrendo em todas as etapas de desenvolvimento das atividades. Ao final da aula, solicite que os alunos relacionem seus conhecimentos anteriores com o que foi aprendido durante a aula. Avalie a participação e o envolvimento dos alunos durante a realização de todas as atividades.

Roteiro passo a passo para construção da caixa de cores

1º Passo: A caixa da MDF (com dimensões aproximadas de 30cm x 20cm x 20cm) pode ser encontrada pronta em lojas que vendem material para artesanato e papelerias. Também podem ser utilizadas caixas de papelão.

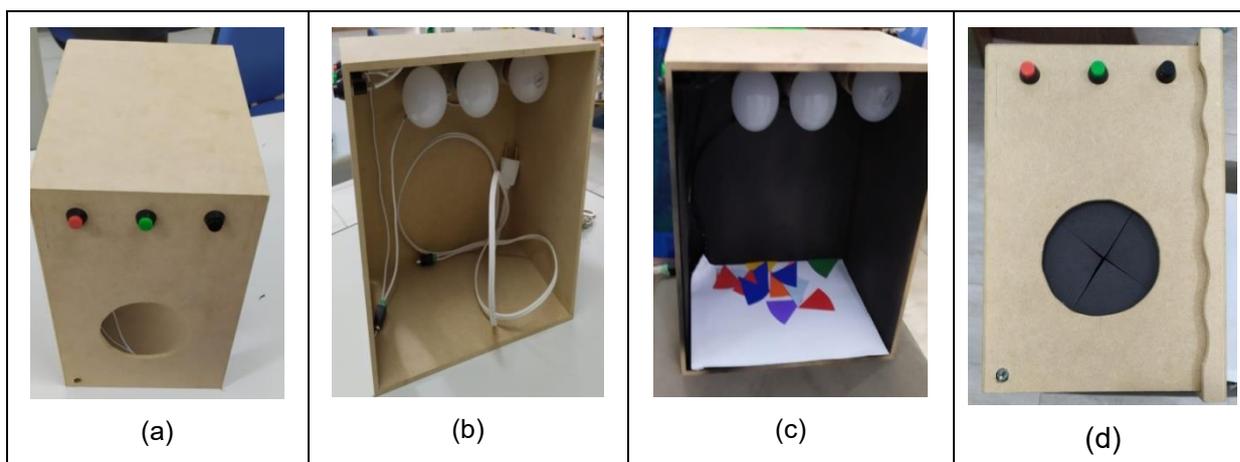
2º Passo: Faça um furo, com aproximadamente 10 cm de diâmetro, na parte inferior de uma das laterais (Figura 6a), por onde possa caber uma mão para retirar e colocar objetos no interior da caixa.

3ºPasso: Neste mesmo lado, na parte superior, fura 3furos para colocar os Switchbottons (Figura 6a). Procure comprar botões que coincidam com as cores das lâmpadas. Ainda do mesmo lado, faça um pequeno furo no canto inferior para passar o cabo de energia. Também pode ser instalado um conector do tipo fêmea e macho.

4º Passo: Na parte interna superior da caixa instale os bocais e construa o circuito elétrico para acionamento das lâmpadas (Figura 6b).

5º Passo: Para melhorar o efeito, pinte a parte interna da caixa de preto (c) e cole um pedaço de EVA preto na parte interna da caixa (d), que irá funcionar como uma porta por onde o aluno irá enfiar a mão para inserir ou retirar um objeto. Por fim, coloque a tampa da caixa.

Figura 32: Passo a passo da montagem da caixa de cores



Fonte: autoria própria

ROTEIRO PARA O ALUNO – Caixa de Cores

1- Introdução

Nesta aula faremos um experimento demonstrativo para analisar como se dá a nossa percepção das cores.

- De onde vêm as cores dos objetos que enxergamos?
- Como podemos mudar a cor de um objeto sem pintá-lo?
- De que forma a percepção das cores influenciam nossas ações no dia a dia?

2- Material usado

- Uma caixa de cores
- Pedacos de Eva coloridos, inclusive preto e branco
- Papel celofane (vermelho, verde, azul)
- Extensão se necessário;

3- Montagem do experimento

- Ligar a caixa de cores na fonte de energia e observar as cores das lâmpadas cada uma separadamente;
- Agora acenda as três lâmpadas juntas e observe o resultado. Em que modelo ele se baseia?
- Coloque um pedaço de EVA amarelo dentro da caixa e ilumine-o com a luz vermelha. Qual a cor desse objeto agora? Por que isso acontece?
- Faça testes com objetos de cores diversas e anote os resultados.
- Pesquise sobre como se dá a composição de cores numa TV e numa impressora colorida.

PLANO DE AULA 6: Objeto invisível

Plano de Aula 06

Turma: 2º ano do ensino médio

Tema: Ótica – Objeto invisível

1 -Tema: O papel dos fenômenos luminosos na visão dos objetos

2- Justificativa: Nesta aula vamos retomar os questionamentos apresentados no início desta SD por meio da seguinte questão:

- A partir do que foi aprendido até agora, em que condições um objeto poderia se tornar invisível?

3- Objetivo Geral: Mostrar a interferência dos fenômenos luminosos na visão dos objetos.

4- Objetivos específicos:

- Relacionar os conteúdos discutidos ao longo da SD para ampliar os conhecimentos sobre luz e cor e sua relação com a visão.
- Compreender os conceitos e princípios básicos envolvidos no processo de visão.

5- Metodologia: A aula será iniciada com a discussão da questão apresentada anteriormente. Na sequência os alunos deverão ser desafiados a tornar uma garrafa a partir dos materiais disponibilizados pelo professor.

6- Recursos: Uma garrafa cilíndrica pequena de vidro, lápis, um copo com água, um copo de vidro liso cilíndrico, glicerina.

Figura 33: Material para tornar um objeto invisível



Fonte: autoria própria

7- Avaliação: A avaliação deverá ser contínua, ocorrendo em todas as etapas de desenvolvimento das atividades. Ao final da aula, incentive os alunos a relacionarem seus conhecimentos adquiridos com o que aprenderam anteriormente. Durante o desenvolvimento da atividade, procure observar o empenho dos alunos na realização da tarefa, a interação em grupo, as conclusões que o grupo obteve em relação a atividade. Também podem ser feitas algumas perguntas relativas as habilidades que se pretende desenvolver.

ROTEIRO PARA O ALUNO – Objeto Invisível

1- Introdução

Nesta aula iremos fazer um experimento demonstrativo para discutir a seguinte questão:

- Em que condições um objeto pode se tornar invisível?

2- Material usado

- 1 garrafa cilíndrica pequena de vidro;
- 1 copo com água;
- 1 copo de vidro liso cilíndrico;
- 2 vidros de 100ml de glicerina.

3- Montagem do experimento

- Com o material disponível, procure propor um experimento que possa tornar a garrafa invisível? Caso tenha dificuldade peça ajuda ao seu professor.
- A partir do fenômeno observado procure explicar as condições necessárias para que possamos enxergar um objeto.

APÊNDICE B – Questionário

1) É possível ver todas as cores em um arco-íris?

sim não não sei.

2) Em um espetáculo há um cenário branco. Projeta-se sobre um mesmo ponto deste cenário um feixe de luz vermelha e outro de luz verde.

a) No ponto onde os feixes se superpõem observa-se qual cor:

branco amarelo marrom não sei

3) Ao entrar em uma sala escura, um espectador pode notar a diferença entre um cenário vermelho, iluminado por luz branca, e um cenário branco, iluminado com luz vermelha?

sim não não sei.

4) Uma Bandeira do Brasil é levada a um quarto escuro, em seguida é iluminada por uma luz monocromática azul. Em que cor se apresenta o retângulo?

Preto Verde Anil Marrom

APÊNDICE C – Molde do disco de newton